



Arbr3013

Göteborg 2008-04-21

1

1FW

ARNEX

Navigation Systems AB

USPTO
COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. BOX 1450
Alexandria, VA 22313-1450
USA

**US Application no 10/748,207, filing date 12/31/2003, Name of Applicants: Hans Robert Holmqvist and Hans Göran Seger, Title of Invention: "Intelligent methods, functions and apparatus for load handling and transportation mobile robots".
Filing of rewritten claims and priority documents.**

Encl #1: Claims, reformulated, 6 pages 1½ space

Encl #2: Priority documents, Swedish Patent Application number 0300001-5,
Dated 2003-01-02, 45 pages including certificate.

Dear Sirs,

In response to your letter Office Action Summary dated 2008-01-23, we herewith enclose the requested rewritten claims and the required priority documents.

Best regards

Arnex Navigation Systems AB



Göran Seger

Arnex Navigation Systems AB
Box 53052
400 14 Göteborg
SE-400 14 GÖTEBORG
Sweden

Org no 556306-9383

What we claim as our invention is:

1. A method for automatic handling of bulk material and other goods where this handling comprises loading, unloading and transport executed by a mobile robot such as an autonomous vehicle or machinery, for industrial applications within limited work areas, outdoor as well as indoor or under ground, characterised by:
 - One or several loading zones are defined for the work area, such loading zones being the sole parts of the work area where loading and working of a volume of material is allowed for collection of material or other objects, and one or several unloading zones being the sole parts of the work area where unloading material and other objects is allowed, and one or several obstacle free zones which together with the loading and unloading zones are the only parts of the work area where autonomous vehicle navigation and autonomously controlled load handling implement movements are allowed;
 - A reference surface is defined for the work area as being the supporting surface for material volumes and other handling objects, such a reference surface being accurately defined in a coordinate system fixed to ground by means of the x-, y- and z-coordinates for an ordered set of points on the same reference surface, this surface being compared with current terrain surface measurements including the surface of material volumes and other handling objects located within loading and unloading zones, and where these measurements are used for optimising parameters for vehicle navigation and vehicle load handling implement movements in loading and unloading tasks as well as for obstacle detection;
 - The position of the mobile robot is obtained, in real time and outdoor as well as indoor or under ground, by an apparatus for accurate determination of the position in a fixed to ground coordinate system in three dimensions x, y and z and the three attitude angles heading, pitch and roll, in all comprising a position determination in six degrees of freedom of a fixed to vehicle coordinate system, where such an apparatus can be a laser-optic system in which the position is determined through azimuth and elevation measurements, with an on board the vehicle rotating laser-optic sensor in a fixed to vehicle coordinate system, towards a number of reflectors with known coordinates in the fixed to ground coordinate system;

- The current shape and location of the terrain surface, outdoor as well as indoor or under ground, is determined by estimating, in a fixed to ground coordinate system, the position in three dimensions of points on this terrain surface, by means of azimuth angle and range measurements in a fixed to vehicle coordinate system by means of at least one scanning laser rangefinder, and coordinate transformation of such measurements into coordinates in the fixed to ground coordinate system using the six degrees of freedom position estimates in the fixed to ground coordinate system of the fixed to vehicle coordinate system by means of the abovementioned position determination;
- The storage, processing and updating operations of the terrain surface shape and location data are made in an on board vehicle dynamic terrain model, where data from this model is used when optimising vehicle paths and load handling implement movements throughout loading and unloading tasks by allowing calculations of pertinent positions and shape elements of material volumes, other handling objects and obstacles, where this model comprises at least three essential layers with for each terrain element n within the work area specific elevation values:
 - ❖ $Z(1,n)$ for layer number 1: emerging model based on data from the vehicle's actual pass in its path where this data is obtained from terrain surface measurements,
 - ❖ $Z(2,n)$ for layer number 2: best estimate of the reference surface devoid of material volumes, other handling objects and obstacles based on initial measurements of terrain surface inside the work area, measurements made by either the abovementioned method element for terrain surface shape and position estimation or by other means collected information of terrain surface shape and position,
 - ❖ $Z(3,n)$ for layer number 3: a current estimate of the entire terrain surface within the work area including material volumes, other handling objects and obstacles,

where this dynamic terrain model is analysed in order to 1) optimise the position of the attack point or optimising the bucket unloading position, respectively, as well as 2) optimising the vehicle's position when attacking for loading or when unloading the bucket, respectively, and 3) for estimating a terrain height profile along the intended loading path of the bucket giving, for each one of a number of

successive penetration depths $s_g(i)$, $i = 0, 1, 2, \dots$ of e.g. the forward tip of the bucket yielding an average level $Z_{loading}(i)$ in a fixed to ground coordinate system for the material volume in a neighbourhood of the forward edge of the bucket;

- An on board mission computer is employed where this computer is provided with mission instructions defining obstacle free zones, loading and unloading zones, parameters for static and dynamic transport paths, reconnaissance paths, loading and unloading paths including also programs contained in the mission instructions for selecting and tying together a sequence of paths and movement processes in order to assemble one or several handling cycles, and furthermore provided with algorithms for vehicle path optimisation and vehicle and load handling implement movements when loading and unloading based on attack point coordinates and bucket unloading point, respectively, plus the terrain height profile $\{Z_{loading}(i), s_g(i), i = 0, 1, 2, \dots\}$ from the dynamic terrain model;
- An on board vehicle control computer is employed for controlling vehicle and load handling implement in the current vehicle path and the current vehicle and load handling implement movement process based on data from the mission computer, where this vehicle control computer has interfaces to the actuators and sensors intended for the steering and driving of the vehicle and its load handling implements.

2. A method according to claim 1 for obstacle detection for the purpose of avoiding the vehicle to get into a too close proximity of or colliding with an obstacle, to supervise the progress of the vehicle in order to initiate an emergency action should the vehicle risk to move outside the areas intended for autonomous navigation and in order to evaluate and accept or reject planned vehicle paths and vehicle and load handling implement movements, by employing the dynamic terrain model for this purpose and characterised by:

- An additional layer in the dynamic terrain model is used for marking obstacle free terrain elements;
- Classifying an element no n in the dynamic terrain model as an obstacle free or not obstacle free terrain element is done by continuously comparing $Z(1,n)$ of the emerging model layer of the dynamic terrain model with the current best estimate of the terrain surface $Z(3,n)$, whereby the element no n shall be classified as

obstacle free if $[Z(1,n) - Z(3,n)] < H$, where H is a given least obstacle height for not classifying an element as obstacle free;

- Evaluating and accepting or rejecting planned paths and considering the risk of the vehicle moving outside those areas intended for autonomous navigation, for the purpose of being able to detect possible planning errors prior to driving an intended path, this evaluation is made by testing for each element no n in the dynamic terrain model if such an element to any part contains a part of an obstacle avoidance zone mapping for any one of the successive positions of the vehicle in the planned path, whereby, if such a terrain element does not belong to any loading, unloading or obstacle free zone, the planned path will be rejected, where:
 - ❖ One or more obstacle avoidance zones are defined in a fixed to vehicle coordinate system;
 - ❖ A specific obstacle avoidance action can be assigned to one or more obstacle avoidance zones;
 - ❖ Obstacle avoidance zone projection is a for the moment defined surface in the fixed to ground coordinate system, where such a surface is the horizontal projection of a fixed to vehicle obstacle avoidance zone for a specific vehicle position in its path;
 - ❖ Obstacle avoidance zone mapping in the fixed to ground coordinate system is the union set of a sequence of all obstacle avoidance zone projections, where each such projection corresponds to a specific position of a sequence of positions of the vehicle in its path;
- Obstacle avoidance action is initiated based on the presence of a non obstacle free element no n in the dynamic terrain model inside any obstacle avoidance zone projection for the present position of the vehicle, in which case the obstacle avoidance actions carried out are assigned to the corresponding obstacle avoidance zone;
- Obstacle avoidance action is also initiated on the presence of a non obstacle free element no n of the dynamic terrain model inside any obstacle avoidance zone mapping representing the planned path of the vehicle, whereby the obstacle avoidance actions to be carried out are assigned to the corresponding obstacle avoidance zones.

3. A method according to claim 1 for a vehicle in motion to find a point (X_{load}, Y_{load}) or (X_{unload}, Y_{unload}) in the fixed to ground coordinate system for the initial position of its load handling implement in a loading or unloading movement, respectively, in a volume of material or other handling objects and where this method employs a dynamic terrain model and is characterised by:
- The vehicle is driven along an in advance planned reconnaissance path towards one inside a limiting polygon defined loading or unloading zone;
 - The most suitable point (X_{load}, Y_{load}) for attacking the material volume when loading is selected among the elements of the emerging layer $Z(1,n)$ of the dynamic terrain model being most near a given initial line or point or otherwise most optimal, and where the surface of those elements have been determined with a sufficient number of measurements during the vehicle's approach along the reconnaissance path from a point where 1) the value $[Z(1,n) - Z(2,n)]$ of a first element no n of the dynamic terrain model has been determined with a sufficient number of measurements and 2) when the inequality condition $A \leq [Z(1,n) - Z(2,n)]$ is satisfied, where A is a given least height of the terrain surface above the reference surface, till the vehicle from this point has travelled a given further distance along the reconnaissance path;
 - Furthermore in a loading task this aforementioned search, for nearest or otherwise most suitable attack point (X_{load}, Y_{load}) for the vehicle's loading bucket or other implement, is confined to such elements no n of the dynamic terrain model for which a condition $B \leq [Z(1,n) - Z(2,n)]$ is valid, where B is a given least feasible loading level above the reference surface per element;
 - In an unloading task the search within the unloading zone for most remote or in another way most suitable unloading point (X_{unload}, Y_{unload}) for the vehicle's bucket or other implement is confined to such elements of the dynamic terrain model for which the inequality $[Z(1,n) - Z(2,n)] \leq C$ is valid, where C is a given maximum height above the reference surface for an element for allowing unloading on this element.

4. A method according to claim 3 to fill a bucket in an automatic loading operation based on the information of a material volume derived from a dynamic terrain model and where the planning and optimisation of parameters for vehicle and load handling implement movements is characterised by:
 - Parameters for the loading path of the vehicle and the lift and tilt movements of the load handling implement are determined during the vehicle's movement along an approach path between the first detection of a material volume and the arrival to the attack point by employing a terrain height profile table, which is based on actual terrain according to the emerging layer $Z(1,n)$ of the dynamic terrain model for a number of points no $i = 0,1,2,3,\dots$, with corresponding penetration depths $s_g(i)$ along the planned path of the loading bucket, and where the Z coordinate $Z_{loading}(i)$ for each such point no i represents, in a fixed to ground coordinate system, an average value of $Z(1,n)$ for elements number n located in a specific proximity of the front edge of the bucket;
 - The volume to become loaded is calculated as the volume that will be cut out by the bucket for a sequence of its positions $k = 0,1,2,3,\dots$ in the same fixed to ground coordinate system, according to the model for planning the vehicle and its load handling implement movements, and from which is obtained an estimate of how deep into the material volume the bucket must be penetrating during the loading process, and also when lift and tilt movements shall be commenced and terminated during the final phase of the loading operation.

5. A method according to claim 4 for minimising the friction caused by the support reaction force on the bucket when the bucket is moved towards and into a material volume, characterised by:
 - Minimising the friction is done by controlling a hydraulic pressure to the lift cylinders of the load handling implement, where the control parameters are optimised in a model based on an estimate of and in order to balance the total weight and moment of the load handling implement with bucket and its expected loaded volume, as a function of penetration depth $s(k)$, $k= 0,1,2,3,\dots$, and the lift and tilt movement process of the load handling implement and by employing the height profile table $Z_{loading}(i)$, $i = 0,1,2,3,\dots$, from the dynamic terrain model.



Intyg Certificate

Härmed intygas att bifogade kopior överensstämmer med de handlingar som ursprungligen ingivits till Patent- och registreringsverket i nedannämnda ansökan.

This is to certify that the annexed is a true copy of the documents as originally filed with the Patent- and Registration Office in a connection with the following patent application.

- (71) Sökande: Arnex Navigation Systems AB, Göteborg, SE
Applicant (s)
- (21) Patentansökningsnummer 0300001-5
Patent application number
- (86) Ingivningsdatum 2003-01-02
Date of filing

Stockholm, 2008-04-17

För Patent- och registreringsverket
For the Patent- and Registration Office

William Ddumba

Avgift
Fee 170:-

Förfarande i form av intelligenta funktioner för fordon och automatiska lastmaskiner gällande kartläggning av terräng och materialvolymer, hinderdetektering och styrning av fordon och arbetsredskap. Patentansökan.

1. Problem

Förarlösa fordon som transporterar bulkmaterial såsom schaktmassor och malm, har börjat tas i bruk inom industrin inom vissa fabriksanläggningar och ett behov finns även vad gäller hantering av andra produktlag såsom fasta bränslen i form av kol och biomassa samt sand, grus, kemikalier och jordbruksprodukter. Transportsystem baserade på fordon har fördelar framför automatiska transportsystem baserade på mera stationära anläggningar, såsom kranar, traverser och transportband, genom att de är mera flexibla och mindre investeringskrävande.

I nu kända utföranden av förarlösa fordon för ovannämnda uppgifter är fordonen antingen helt fjärrstyrda av en operatör eller försedda med en begränsad autonomitet så att de utan operatör kan navigera utefter en planerad bana, medan fortfarande en operatör erfordras för att styra arbetet vid lastning samt för att ingripa och fjärrstyrta maskinen vid olika mer eller mindre ovantade situationer. Vidare krävs som regel att en sådan maskin endast får uppträda autonomt på från övrig trafik och personer avgränsade områden, eftersom maskinen saknar eller endast har relativt onoggranna anordningar för att under autonom drift kunna upptäcka eventuella hinder och andra icke önskade föremål i sin väg. Dessa begränsningar medför att personalbesparingen jämfört med en bemannad maskin blir relativt måttlig eftersom en operatör i stort sett kontinuerligt måste finnas till hands för att kunna ingripa i den direkta styrningen av maskinen.

Det finns därför ett behov av att utöka de förarlösa fordonens autonoma förmåga, dels vad gäller lastnings- och lossningsmomenten av hanteringen, dels vad gäller förmågan att vid autonom drift med hög noggrannhet och säkerhet upptäcka hinder och andra icke önskade föremål i körbanan.

Uppfinningen löser detta problem, vid fordon och automatiska lastmaskiner med lasthanteringsdon och system för autonom navigering inom avgränsade områden, genom en med en kombination av en scannande laseravståndsmätare och ett fordonsburet positionsbestämnings-system inmätt dynamisk terrängmodell, där en särskild dynamisk terrängmodellsdator, DTM-dator, analyserar aktuella mätningar mot befintliga modellvärdet och därvid kan upptäcka och med hög noggrannhet registrera och analysera ytan av terräng, materialvolymer och andra föremål och hinder framför fordonet och där positionsbestämningssystemet i tre dimensioner och sex frihetsgrader med hög noggrannhet bestämmer fordonets och den scannande laseravståndsmätarens läge i ett jordfast koordinatsystem och förutom att ge positionsuppgifter för fordonets banstyrning därmed möjliggör att uppbyggnad och uppdatering av ovannämnda terrängmodell och förekommande jämförelser mot tillkommande mätningar sker väldefinierat och entydigt i ett jordfast koordinatsystem och vartill en särskild uppdragsdator i fordonet, utgående från av DTM-datorn beräknad angrepsspunkt och höjdprofil för en lastnings- eller lossningsbana in i den uppmätta materialvolumen, beräknar parametrar för fordonets bana och lasthanteringsdonets rörelse under vissa bansegment inklusive lastningsbanan, samt där denna uppdragsdator även samordnar och beordrar styrning av fordons och lasthanteringsdon i såväl i förväg helt planerade och därmed statiska banor som i de dynamiskt planerade banorna vars parametrar beräknats i uppdragsdatorn utgående från DTM -datorns analyser.

Uppfinningen framgår av efterföljande patentkrav.

2. Känd teknik

De system som idag används för autonom styrning av förarlösa fordon bygger vanligen på att fordonen framförs på en i förväg planerad bana med hjälp av något positionsbetsämningssystem. Lasthanteringsfunktioner vid arbete med bulkmaterial kan byggas på att maskinen är försedd med en eller flera videokameror som via en radiolänk ger operatören en presentation på bildmonitor som underlag för att vid lastning och andra kritiska hanteringsmoment styra maskin och redskap med fjärrkontroller. Eftersom operatören alltid måste ingripa under vissa delar av ett cyklistiskt hanteringsförlopp blir personalbesparingen relativt begränsad jämfört med en konventionell hantering med en operatör ombord på fordonet. Vidare saknas i många fall säkerhetsanordningar för att med tillräcklig noggrannhet upptäcka och undvika kollision med hinder i banan under transportdelen av hanteringsförloppet då operatören normalt ej styr och övervakar fordonet, vilket medför ökade risker alternativt skärpta krav på ytterbevaknings- och begränsningsanordningar samt krav på kapacitetsbegränsande trafikseparerering vad gäller autonomt navigatorande fordon.

För fordon i form av automatiska truckar som används i inomhus drift baseras antikollisionssystemen vanligen på en kombination av akustiska, elektrooptiska och mekaniska sensorer, som är monterade på maskinen och som med tillräcklig säkerhet varvat och ett eller tillsammans detekterar och larmar för hinder i närheten av maskinen.

I kända utföranden av mekaniska hindersonorer bygger de på att känna av hinderkontakt med en rörlig del, såsom exempelvis en plåt, varvid denna del tillåts flytta sig en viss sträcka relativt fordonets övriga geometri för att ge utrymme för en inbromsning av fordonet från det ögonblick hindret detekteras tills fordonet är stoppat. För att medge rimliga bromssträckor med hänsyn till möjligheten att utföra dessa mekaniska hindersonorer måste fordonshastigheten därför begränsas till någon meter/sek.

I kända utföranden av mekaniska hindersonorer ingår också att dessa kännande delar är placerade nära golvet. För att ett sådant skydd ska vara effektivt förutsätts att golvet är någorlunda plant.

Ultradjudssensorer är avsedda för att varna för hinder på något större avstånd än de mekaniska hindersonorerna. Eftersom dessa sensorers upptäcktsförmåga är beroende av det föremål som ska detekteras, så duger de bäst till att detektera solida och storleksmässigt bastanta hinder, såsom en vägg, medan andra hinder, såsom en liten materialvolym på golvet, kan vara svårare att detektera. Liksom för de mekaniska sensorerna är räckvidden också så kort att ultradjudssensorer fungerar bäst vid hastigheter av storleksordningen högst någon m/s.

I inomhusfordon används också scannande laseravståndsmätare för att upptäcka hinder. I kända utföranden är den monterad så att den verkar i ett horisontellt plan nära golvet. Liksom de mekaniska hindersonorerna kräver denna sensor ett någorlunda plant golv, men har fördelen att medge längre inbromsningssträcka än de mekaniska hindersonorerna.

På fordon såsom en hjullastare med ett stort lasthanteringsdon fram till på fordonet är användningen av ultraljuds- och mekanisk hindersonor i kända utförandeformer förhindrad av lasthanteringsdonets placering.

Vid användning av scannande laseravståndsmätare som hinderdetektor på utomhusfordon, finns i nu kända utföranden begränsningar som gör en sådan sensor mindre effektiv i många fall. Ett fram till monterat lasthanteringsdon är ivägen för en sensor som arbetar i ett horisontellt plan

med avsikt att se hinder framför fordonet. För en högre upp på fordonet monterad sådan sensor och som arbetar i lutning ner mot marken måste beaktas dels att markytan ofta inte är lika plan och slät som golvet i en fabrikslokal varför ett mindre hinder kan vara svårt att skilja från markytan, dels eftersom fordonen ofta har ett mera energirikt rörelsespektrum i tipp-, roll- och Z-led som kan ge betydande och med avståndet snabbt växande felbidrag till den scannande laseravståndsmätarens mätningar.

Skriften Nr WO 87/02484 från 1987 anger ett förarlöst fordon som har viss förmåga till autonom lastning och lossning av enstaka fasta föremål. Metoden kräver att varje enskilt föremål som ska hanteras är försett med ett antal reflektorer samt att föremålen har vissa standardmått, typ lastpall. Metoden klarar ej lastning av bulkmaterial och fasta föremål av skiftande och obekant form.

I US patent 5,548,516 från 1996 anges ett förarlöst fordon som utöver autonom navigering baserat på GPS, tröghetsnavigering och odometerbaserad dödräkning har en scannande laseravståndsmätare för att upptäcka och undvika hinder. Däremot saknar detta fordon terrängmodell och funktioner för autonom hantering av material.

I en amerikansk forskningsartikel från 1999: "Motion Planning for All-Terrain Vehicles: A Physical Modeling Approach for Coping with Dynamic and Contact Interaction Constraints", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol 15, No 2, April 1999, beskrivs ett koncept för banplanering för en mobil robot som rör sig i fri terräng. Konceptet förutsätter full kännedom om terrängens topologi, och problemet med material- och lasthantering behandlas icke. Lasthantering behandlas inte heller i en annan forskningsartikel, "Autonomous Robot Navigation in Unknown Terrains: Incidental Learning and Environmental Exploration", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol 20, No 6, Nov/Dec 1990. Däremot berör denna artikel problemet att kartlägga omgivningen med hjälp av en fordonsbaserad terrängsensor.

US patent 5,974,352 anger ett förfarande för att styra en lastskopa med hjälp av läges- och tryckkänrande sensorer på lift- och tiltcylindrarna, och som utgående från integration av krafter och rörelser i lasthanteringsdonets mekanik beräknar gynnsamma lyft- och tiltrörelser på skopan. Förfarandet förutsätter en förare eller operatör som väljer lastningspunkt och som kör fordonet till och från denna punkt samt kör fordonet under hela lastningsrörelsen och som styr skopan vid påbörjandet och avslutandet av lastningsrörelsen.

US patent 6,173,215 B1 avser hur ett förarlöst fordon ska manövrera då ett hinder har upptäckts. Däremot behandlas inte vilka typer av sensorer som används för att upptäcka och mäta in ett hinder.

3. Figurer

Följande figurer används i beskrivningen:

Fig 1: Begreppsträd. Relationer mellan begreppen förarlös, fjärrstyrd och autonom samt autonom planstyrd och autonom intelligent samt underbegrepp till autonom intelligent.

Fig 2: Lastmaskin 1 med lasthanteringsdon 14 och lastskopa 142, scannande laseravståndsmätare 81 för att mäta in markytan, materialvolym och hinder och för att ge indata till den dynamiska terrängmodellen 821 samt positionsbestämningssystem 7 med fordonsburen roterande elektrooptisk sensor 71 och markfasta reflektorer 72. Figuren visar, i ett vertikalsnitt, var laserstrålen träffar en framför fordonet 1 befintlig materialvolym 181.

Fig 3: Princip för elektrooptiskt system enligt svenskt patent nr 464 837 för bestämning, i ett jordfast koordinatsystem 41, av ett fordons 1 position i tre dimensioner samt dess kurs- tipp- och

rollvinklar utgående från vinkelräckvidderna i ett fordonsfast koordinatsystem 42 mot ett antal markfasta reflektorer 72 inom den laseroptiska sensorns 71 räckvidd.

Fig 4: Lägesbestämning i tre dimensioner i ett jordfast koordinatsystem 41 av punkter i terrängen från ett godtyckligt positionerat och orienterat fordon 1 med scannande laseravståndsmätare 81 som mäter i ett fordonsfast koordinatsystem 42.

Fig 5: Avbildning från dynamisk terrängmodell 821, en variabel Z som funktion av koordinater i planet X och Y.

Fig 6: Område med gränser utritade för en materialvolym 181 som skall hanteras och med exempel på hinderfri zon 191 samt zoner för spaning 192 och lastning 193, i förväg planerad bana för spaning 111, dynamiskt planerad närmandelbana 121 från en växlingspunkt 1112 på spaningsbanan till en likaså dynamiskt planerad lastningsbana 1223 med tillhörande dynamiskt planerade rörelser för lasthanteringsdonet inklusive lastskopan, en dynamiskt planerad transportbana 124 som omfattar fordonets 1 gång ut ur materialvolymen och åter till vänteläge 110 för växling av körriktningen och statiska transportbanor 112 till och från en lossningspunkt 1231 med de rörelser av lastskopan som erfordras vid lossning respektive utgång ur lossningsmomentet.

Fig 7: Område med gränser utritade för en materialvolym 181 som skall hanteras och med exempel på hinderfri zon 191 samt zoner för spaning 192 och lossning 194, i förväg planerad bana för spaning 111, dynamiskt planerad närmandelbana 121 från en växlingspunkt 1112 på spaningsbanan till en lossningspunkt 1231, en dynamiskt planerad transportbana 124 som omfattar fordonets 1 gång ut ur materialvolymen och åter till ett läge för växling av körriktningen och statiska transportbanor 112 till och från en i bilden utelämnad lastningsuppgift.

Fig 8: Blockschema med de för uppfinningen väsentliga omvärdssensorer och datorsystem som erfordras ombord på fordonet 1, innehållande

- 1) framåtseende scannande laseravståndsmätare 81 som i ett fordonsfast koordinatsystem 42 detekterar och mäter in punkter på markytan samt på förekommande hinder samt
- 2) positionsbestämningssystem 7 som, i ett jordfast koordinatsystem 41, anger fordonets 1 position i sex frihetsgrader (koordinater x,y och z samt attitydvinklar ψ (kursvinkel), ϑ (tippvinkel) och ϕ (rollvinkel) samt
- 3) DTM-datorn 82 för att hantera och bearbeta den dynamiska terrängmodellen DTM 821 där denna dator tar emot mätningarna från den scannande laseravståndsmätaren 81 och med hjälp av den i sex frihetsgrader angivna lägesuppgiften från positionsbestämningssystemet 7 omvandlar den scannande laseravståndsmätarens 81 mätvärden till koordinater i det jordfastta koordinatsystemet för punkter på markytan, på materialvolymerna samt på förekommande hinder, som därmed bygger upp och uppdaterar en dynamisk terrängmodell 821, och utifrån denna modell beräknar och till uppdragsdatorn 6 meddelar koordinater för last- och lossningspunkter samt höjdprofiler för planering av banor vid lastning från respektive lossning till en befintlig materialvolym samt att DTM-datorn också kontinuerligt utvärderar kriterier för varning och nödstopp vid förekommande hinder och därvid sänder erforderliga hindervarnings- 9842 och nödstoppsmeddelanden 9841 till styrdatorn 211 samt
- 4) uppdragsdator 6 som hanterar uppdragsprogrammet, planerar fordonsbanor och fordonets 1 rörelse längs dessa banor samt planerar skopans rörelse vid hantering av last och som sänder underlag till DTM-datorn 82 i form av spaningsuppdrag 94 med gränstabell 941 för spaningszon 192 och spaningsriktning, 942 för lastningszon 193, lastriktnings- och lastskopans bredd samt hinderdetekteringsuppdrag 95 med gränstabell 951 för hinderfria zoner 191 och tabell 952 med fordonets hinder skyddsgeometri 195 och som förser såväl DTM-datorn som fordonsstyrdatorn 211 med styrtabeller 971 för styrning av fordon och lasthanteringsdon, samt
- 5) styrdator 211 som styr fordonet 1 och lasthanteringsdonet 14 i autonom mod med hjälp av ett antal ställdon och avkännare installerade i fordonets styr- och reglersystem utgående från

- styrtabell 971 som tillsänts styrdatorn från uppdragsdatorn 6 eller direkt på hindermeddelande 984 som genererats av DTM-datorn 82. I fjärrstyrningsmod styrs fordonet av operatören som därvid kan fjärrstyrta varje erforderligt ställdon i fordonet via styrdatorn samt
- 6) radiolänk 5 med radiolänkterminal 51 vid operatörsplats och 52 ombord fordonet, för att sända parametrar för beordrade banor samt tillfälliga kommandon och fjärrstyrningssignalen till fordonet 1 samt för att från fordonet sända statusinformation och positionsuppgifter till
 - 7) operatörsplats 3 med MMI (gränssnitt människa/maskin)-dator 31 samt
 - 8) operatör som beordrar och har möjlighet att planera autonoma uppdrag och som kan gå in och styra fordonet 1 i undantagsfall, såsom vid larm och systemfel.

Fig 9: Exempel på dynamisk närmandelbane 121 bestående av ett inledande cirkelsegment omgivet av ett klotoïdpar, därefter en rakbana och ett avslutande cirkelsegment också omgivet av ett klotoïdpar.

Fig 10: Väsentliga dataprogram, datameddelanden och parameterlistor samt beräkningsmoment, källor, beroende- och påverkansstruktur samt dataflödets vägar i och mellan DTM-datorn 82, uppdragsdatorn 6 och fordonsstyrdatorn 211.

Fig 11: Uppdrags- och meddelandeutväxling samt analys och beräkningsmoment vid genomförande av spanings- och lastningssekvens. Exempel.

Fig 12: Skelettmodell av lasthanteringsdon 14 med lastskopa 142 samt delar av fordonets 1 ramfasta mekanik

Fig 13: Förenklad modell, uppbyggd av rigida element och pivotpunkter, av den mekaniska strukturen som omfattar lasthanteringsdon 14 med lastskopa 142

Fig 14: Lastningsbana 1223, projektion i det jordfasta koordinatsystemets 41 x/y-plan, angreppspunkt för lastning 1222, inträngningsdjup s(k) och beräknade medelvärden Z(k) för höjdvärdet i jordfasta koordinatsystem 41 avseende pukter på materialvolymens 181 yta utmed en linje av lastkopans bredd tvärs lastningsbanans riktning för varje steg $k = 0,1,2,3,\dots$ av lastningsrörelsen och därur uppskattad höjdprofil z(k) i det jordfasta koordinatsystemet.

Fig 15: Utskuren volym åskådliggjord i en avbildning med en polygonmodell som genomskärning av lastskopan 142 i en serie på varandra följande lägen i jordfast koordinatsystem 41 under en täkt lastningsrörelse i en materialvolym 181.

Fig 16: Rymmande volym åskådliggjord för två olika lägen av en lastskopa 142

Fig 17: Terrängprofil med referensytta 17, materialvolym 181 och hinder 182 med lagret $Z(1,m)$ och funktionen $Z(1,m) - Z(2,m)$

Fig 18: Fordonets 1 hinderyddsgeometri 195 i den dynamiska terrängmodellen 821. Den del av den hinderfria zonen 191 som avsöks med avseende på eventuella hinder representeras av ett antal av fordonets hinderyddsgeometri täckta element, och mönstret är skapat utgående från ett antal på varandra följande positioner för fordonets hinderyddsgeometri i den planerade banan vid och framför fordonet som är avbildat i sin befintliga position.

4. Uppfinningens utförande

Allmän översikt

I den här följande beskrivningen av denna uppfinning används det kortfattade uttrycket "system" för att avse anordning eller apparat, förfarande eller metod eller en kombination av anordning eller apparat och förfarande eller metod.

Med hänvisning till begreppsträdet i figur 1 och dess förklaringar nedan avser uppfinningen intelligenta funktioner för fordon och automatiska lastmaskiner gällande kartläggning av terräng och materialvolymer, hinderdetektering och styrning av fordon och arbetsredskap.

Uttrycket fjärrstyrning avser styrning av ett fordon som kontinuerligt eller nära kontinuerligt via ett kommunikationsmedium, normalt i form av en radiolänk med eventuell bildöverföring, styrs av en operatör som ej befinner sig i fordonet.

Uttrycket autonom används i betydelsen självständig. Det avser således utförande verksamhet som antingen är helt automatisk eller åtminstone till avsevärd del automatisk det vill säga utan nämnvärd mänsklig medverkan i denna verksamhet. Ett autonomt fordon ska kunna arbeta obemannat, dvs utan att behöva mänsklig förare eller annan operatör, vare sig ombord eller vid någon fristående operatörsplats, för att styra fordonet och manövrera dess arbetsredskap. Om mänskliga passagerare förekommer ombord, där dessa utöver möjlighet att ingripa i undantagsfall och nödsituationer inte deltar i styrningen, kan ett sådant fordon fortfarande anses vara autonomt.

Uttrycket planstyrning används om system för autonom arbetsoperation som följer en uppgjord plan utan nämnvärd möjlighet till korrigeringar med hänsyn till ändringar eller uppkommen tillgång till tidigare ej åtkomlig eller befintlig information.

Uttrycket intelligent används om system för autonom arbetsoperation som till skillnad från system för planstyrda autonom arbetsoperation innehåller element som uppskattar tillstånd i och skapar eller uppdaterar modeller av omvärlden och som utgående från dessa uppskattningar och modeller genererar, simulerar och utvärderar ansats till plan för arbetsoperation, modifierar uppgjord plan eller skapar ny plan för arbetsoperation som är optimal i den meningen att den förväntas ge en större produktion än andra möjliga alternativ och att den kan utföras inom givna ramar och gränsvärden. Liksom vid planstyrning innehåller ett intelligent system element som tillser att uppgjord plan följs och genomförs, genom användning och styrning av tilldelade resurser och medel.

Uttrycket banstyrning avser autonom navigering utefter en uppgjord bana, definierad av ett antal bansegment med för varje segment erforderliga parametrar såsom ingångs- och utgångsposition, -hastighet och kursvinkel, ev krökningsparameter samt maxhastighet. Banstyrningen innefattar normalt ett realtids positionsbestämningssystem, som tillgodosör styrsystemets behov av att kunna jämföra uppnått positions- och rörelsetillstånd med planerade värden.

Beskrivning av upfinningen

Med hänvisning till figur 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 och 18 innefattar upfinningen ett förfarande i form av intelligenta funktioner för fordon och automatiska lastmaskiner gällande kartläggning av mark/referensyt och materialvolymer, hinderdetektering och på sådan information baserade intelligenta funktioner för planering och styrning av fordon och arbetsredskap. Uppfinningen avser därvid ett förfarande för kartläggning av ett arbetsområde och däri ingående mark/referensyt 17, materialvolymer 181 och hinder 182 med hjälp av fordonsburna sensorer varvid ett sådant fordon 1 är försett med ett positionsbestämningssystem 7 med en fordonsburen roterande elektrooptisk sensor 71 för noggrann positionsbestämning av fordonet i tre dimensioner X, Y och Z i ett jordfast koordinatsystem 41 och dessutom kurs-, tipp- och rollvinkel, utnyttjande markfasta reflektorer 72 samt ett system 8 för mätning, modellering och analys av terräng, materialvolymer och hinder bestående av en scannande laseravståndsmätare 81 och en dynamisk terrängmodell 821, DTM, i en särskild terrängmodell- eller DTM-dator 82 med algoritmer för att mäta in, registrera och analysera mark- eller referensyt, materialvolymer och hinder samt, baserat på denna mer eller mindre kontinuerligt under ett uppdrag insamlade information och genomförda kartläggning, att vid autonom lastning och lossning av material inom särskilt avgränsade områden beräkna koordinater för närmaste eller på annat sätt mest lämpliga angreppspunkt 1222 vid lastning där mitten av lastskopans 142 framkant avses gå in i materialvolymen, och uppskatta en för styrningen av lasthanteringsdonet 14 erforderlig höjdprofil för lastningsbanan, respektive att vid lossning beräkna koordinater för mest avlägsna eller på annat sätt mest lämpliga tömningspunkt 1232 för lastskopan vid lossning samt att vid upptäckt och

farlig närhet av hinder ge varning respektive stoppkommando, varvid DTM-datorns spanings- och hinderdetekteringsuppgifter är beordrade från en uppdragsdator 6, som i sin tur, för ett specifikt uppdrags genomförande blivit försedd genom översändning av data från en operatörsplats 3 med ett operationsuppdrag 9 innehållande uppdragsprogram 91 för den överordnade styrningen av fordonet under ett uppdrag samt parametrar 92 för statiska bansegment 11 och prototyp-parametrar 930 för operationens dynamiska bansegment 12 samt spaningsuppdrag 94 med anbefalda zoner och riktningsangivelser för spaning, lastning och lossning och hinderdetekteringsuppdrag 95 med gränstabeller 951 för hinderfria zoner 191 samt tabell 952 med hinderyddsgemetri 195 för det aktuella fordonet, och där denna uppdragsdator tar emot meddelanden från DTM-datorn avseende koordinater och lokal terrängmodell för lastnings- respektive lossningspunkter och med hjälp av program 611 - 613 för optimering av fordonsbana och lasthanteringsdonets rörelse, samt program 614 för simulering och tabellering av fordonets och lasthanteringsdonets rörelse beräknar och till en fordonsstyrdator 211 översänder styrtabell 971 för aktuellt bansegment varvid denna styrdator via gränssnitt 212 till fordonets elektriska och hydrauliska system styr fordonet och dess redskap i planerade banor och rörelser samt vid hinder påträffade av DTM-datorn och på direkta hindermeddelanden 984 från denna beroende på hindrets närhet ändrar hastighet eller, liksom vid bruten radiolänkförbindelse 5 med operatörsplatsen, stannar fordonet och larmar till operatörsingripande.

Vid ett förfarande i form av intelligenta funktioner för fordon och automatiska lastmaskiner gällande kartläggning av terräng och materialvolymer, hinderdetektering och styrning av fordon och arbetsredskap är fordonet 1 försett med ett lasthanteringsdon 14 vari ingår en lastskopa 142 eller annat styrbart lastbärande redskap. För planering och övervakning av fordonets arbete finns en operatörsplats 3 med gränssnitt människa/maskin, MMI-dator, 31 som med en radiolänk 5 har förbindelse med fordonets uppdragsdator 6. I MMI-datorn finns för fordonet förplanerade operationsuppdrag 9 innehållande ett för varje operation specifikt uppdragsprogram 91 som sköter utdelning av uppgifter till olika delsystem och som kontrollerar att uppgifterna utförs planenligt under uppdragets gång efterhand som arbetet framskrider och som återlämnar initiativet till operatörsplatsen när uppdraget är slutfört eller om det avbryts av annan anledning. I operationsuppdraget ingår också parametrar 92 för statiska bansegment 11, prototypparametrar 930 för dynamiska bansegment 12, spaningsuppdrag 94 med riktningsangivelser och gränstabeller för zoner för spaning 941, lastning 942 och lossning 943 samt hinderdetekteringsuppdrag 95 med gränstabeller 951 för hinderfria zoner 191 och tabell 952 med fordonets hinderyddgemetri 195. Inför ett uppdrag sänds från operatörsplatsen 3 ett sådant operationsuppdrag 9 till fordonets uppdragsdator 6 via radiolänk 5.

I det totala systemet ingår ett positionsbestämningssystem 7. Det används för fordonets 1 navigering, samt för att i ett jordfast koordinatsystem 41 avge position och attitydvinkelar avseende ett fordonsfast koordinatsystem 42 i vilket det sitter en scannande laseravståndsmätare 81 som tillhör fordonets delsystem 8 för inmätning av mark/referensytta 17, materialvolymer 181 och hinder 182. Positionsbestämningssystemet beräknar, i ett jordfast koordinatsystem 41, fordonets läge i sex frihetsgrader, dvs x-, y- och z-koordinater samt de tre attitydvinklarna ψ (kursvinkel), θ (tippvinkel) och ϕ (rollvinkel). I det jordfastas koordinatsystemet är exempelvis X-axeln en mot norr riktad vektor i horisontalplanet, Y-axeln en vektor likaledes i ett horisontalplan, vinkelrät mot X-axeln och riktad mot öster. Z-axeln är en normalvektor till samma horisontalplan och vinkelrät mot både X-axeln och Y-axeln och riktad uppåt, dvs mot zenit. Det fordonsfastas koordinatsystemet 42 är också ett rätvinkligt koordinatsystem, där ξ -axeln till exempel är riktad framåt och utmed fordonets längsriktning, η -axeln riktad i fordonets tvärsriktning och ζ -axeln är

riktad uppåt och vinkelrätt mot både ξ -axeln och η -axeln. Det fordonsfasta koordinatsystemets läge och orientering i rymden definieras av positionen (x, y, z) för dess origo och dess vridning i förhållande till det jordfasta koordinatsystemet av de tre attitydvinklarna ψ (kursvinkel), θ (tippvinkel) och φ (rollvinkel). Vinkeln ψ kan därvid definieras som en medurs vridning av det fordonsfasta koordinatsystemet kring dess egen ζ -axel, sett från en punkt på den positiva delen av nämnda axel. På samma sätt definieras vinkeln θ som en moturs vridning av det fordonsfasta koordinatsystemet kring dess egen η -axel, sett från en punkt på den positiva delen av nämnda axel, och vinkeln φ som en moturs vridning av det fordonsfasta koordinatsystemet kring dess egen ξ -axel, sett från en punkt på den positiva delen av sistnämnda axel.

Ett sådant positionsbestämningssystem 7 kan till exempel utföras enligt de principer som anges i svenskt patent nr 464 837 och som för att erhålla sex frihetsgrader i positionsbestämningen utför vinkelmätningar i sidled och höjdled till ett antal reflektorer 72 kring fordonet 1.

Föreliggande uppförande är en utveckling av detta patent genom införande av en framåtseende scannande laseravståndsmätare 81 avsedd för att med hög noggrannhet upptäcka och mäta in terräng, materialvolymer och andra föremål såsom hinder framför fordonet och den tillhörande DTM-datorn 82 vars uppgift är att med hjälp av den i sex frihetsgrader angivna lägesuppgiften från positionsbestämningssystemet omvandla den scannande laseravståndsmätarens mätvärden till koordinater i det jordfasta koordinatsystemet för punkter på markytan, på materialvolymer samt på förekommande hinder och att därmed bygga upp och uppdatera en dynamisk terrängmodell DTM 821. Utgående från DTM kan sedan olika analyser ske dels vad gäller lämpliga punkter till vilka fordonet kan styras vid lastning och lossning, dels vad gäller val av parametrar för att skapa effektiva rörelser med fordon och lasthanteringsdon vid lastning och lossning. Dessutom kan DTM användas utanför lastnings- och lossningszonerna för att detektera och ge larm i systemet för upptäckta hinder.

Vidare är fordonet 1 anordnat för fjärrstyrning genom att det är försett med en fordonsstyrdator 211 med gränssnitt till fordonets elektriska system, innefattande gränssnitt till motor, växellåda, färdbroms, parkeringsbroms och fordonets styrsystem, med gränssnitt till lasthanteringsdonets sensorer och elektriskt styrbara ställdon 14, med gränssnitt till ett positionsbestämningssystem 7, med gränssnitt till operatörsplatsen 3 via radiolänk 5, med gränssnitt till uppdragsdatorn 6 och för hinderskyddsfunktioner även med gränssnitt till DTM-datorn 82 med digital terrängmodell 821.

Fordonsstyrdatorns 211 styrning av fordonet baseras på en styrtabell 971 som genereras i uppdragsdatorn 6 med hjälp av ett program 614 för simulerings och tabellering av fordonets och lasthanteringsdonets rörelse. Denna tabellgenerering utförs för varje bansegment från stillastående eller växlingspunkt från föregående bansegment till stopp eller växlingspunkt till nytt bansegment. För statiskt bansegment 11 genereras styrtabellen därvid i uppdragsdatorn utgående från en uppsättning färdiga parametrar 92 för statiskt bansegment 11, medan den för dynamiskt bansegment 12 genereras utgående från en uppsättning i uppdragsdatorn beräknade parametrar 931. För beräkning i uppdragsdatorn 6 av parametrar för dynamiska banor används program för optimering av närmande-, lastnings- och lossningsbana 611, 612 respektive 613 vars beräkningar bygger på dels en uppsättning prototypparametrar 930, dels mätvärden och tabeller som skapats i DTM-datorn 82 i form av upptäckts-, lastningsbane- och lossningspunktsmeddelanden 981, 982 respektive 983. I DTM-datorn finns en dynamisk terrängmodell DTM 821 som täcker hela arbetsområdet

med transportvägar och zoner för spaning, lastning och lossning. Vidare mottar DTM-datorn kontinuerligt under uppdraget positionsuppgifter från positionsbestämningssystemet 7. Vid lastning eller lossning inleds, efter eventuella förberedande statiska banor för att komma fram till lämplig närhet av den aktuella lastnings- eller lossningszonen, en spaningsbana 111 varunder syftet är att upptäcka en lämplig punkt i materialvolymen där en lastningsrörelse in i materialvolymen kan påbörjas eller där en lossningsrörelse 1233 kan utföras. Via uppdragsdatorn är DTM-datorn försedd med erforderliga zongränsstabeler 941, 942 och 943 för spanings- 192, lastnings- 193 respektive lossningszon 194 från operationsuppdraget 9. På grundval av dessa uppgifter avgör DTM-datorn när fordonet befinner sig i spaningszon och påbörjar då aktiv uppdatering av den dynamiska terrängmodellen utgående från den scannande laseravståndsmätarens 81 avstånds- och vinkelmätningar mot materialvolym 181 och andra ytor inom aktuell lastnings- eller lossningszon. Med hjälp av de koordinater och attitydvinkelar i det jordfasta koordinatsystemet 41 för det fordonsfasta koordinatsystemet systemet 42 som erhålls från positionsbestämningssystemet 7 transformeras mätningarna från det fordonsfasta koordinatsystemet 42 i vilket dessa mätningar primärt sker, till positioner i jordfast koordinatsystem 41 varefter resultatet av varje mätning kan användas för att uppdatera den dynamiska terrängmodellen.

Parallelt med denna uppdatering analyserar DTM-datorn 82 också den framväxande dynamiska terrängmodellen DTM 821 för att hitta närmaste eller mest avlägsna eller på annat sätt mest optima angreppspunkt 1222 för lastning respektive tömningspunkt 1232 för lastskopan vid lossning. När en sådan punkt är funnen sänder DTM-datorn till uppdragsdatorn 6 ett upptäcktsmeddelande 981 med koordinater för fordonets position vid meddelandet tillfället samt koordinater för den hittade punkten. I uppdragsdatorn beräknas då, utgående från dessa uppgifter från DTM-datorn samt från i operationsuppdraget 9 ingående prototypparametrar 930, med hjälp av uppdragsdatorns program 611, parametrar 9311 och styrtabell 971 för en dynamisk närmandelbana 121, som från en med hänsyn till fordonets momentana position lämplig växlingspunkt 1112 en bit längre fram i den pågående spaningsbanan 111 ska leda fordonet till ett lämpligt läge, lastningspunkten 1221 eller lossningspunkten 1231 inför den hittade angreppspunkten 1222 för lastskopans ingång i en materialvolym respektive tömningspunkten 1232 för lastskopan vid lossning. Därefter sänder uppdragsdatorn ett växlingsmeddelande 972 med koordinaterna för växlingspunkten samt närmandelbanans styrtabell till fordonsstyrdatorn 211. Dessutom sänder uppdragsdatorn ett rapportpunktsmeddelande 973 till DTM-datorn som avser koordinaterna för den punkt i banan där DTM-datorn ska till uppdragsdatorn avge ett lastningsbanemeddelande 982 med koefficienter 9821 för markplanet vid lastningspunkten och en tabell 9822 över en beräknad höjdprofil i lastningsbanan 1223 eller vid lossning ett lossningspunktsmeddelande 983 med koefficienter 9831 för markplanet vid lossningspunkten och en tabell 9832 med lokal terrängmodell av den inmätta materialvolymen 181 i en omgivning av den föreslagna tömningspunkten 1232 för lastskopan vid lossning. Samtidigt fortsätter DTM-datorn att analysera den framväxande DTM för att beräkna dessa koefficienter och denna höjdprofil eller lokala terrängmodell i den riktning som enligt i operationsuppdraget angiven lastnings- respektive lossningsriktning leder in i materialvolymen från den föreslagna angreppspunkten för lastskopans ingång i materialvolymen eller den föreslagna tömningspunkten 1232 för lastskopan vid lossning. När rapportpunkten nåtts och detta lastningsbanemeddelande 982 sänts över från DTM-datorn beräknas aktuella parametrar 9312 för lastningsbana i uppdragsdatorn med hjälp av dess program 612 för optimering av lastningsrörelse och utgående från prototypparametrar 9302 för lastningsbana samt från DTM-datorn erhållna koefficienter och höjdprofiltabell. Vid en lossningsuppgift och efter mottagning av från DTM-datorn erhållet lossningspunktmeddelande 983 beräknas aktuella

parametrar 9313 för fordonets lossningsrörelser 1233 i uppdragsdatorn med hjälp av dess program 613 för optimering av lossningsrörelse och utgående från prototypparametrar 9303 för lossningsrörelse samt från DTM-datorn erhållen tabell med lokal terrängmodell. Slutligen simuleras föllopet i uppdragsdatorn med hjälp av dess program 614 för simulerings och tabellering av fordonets och lasthanteringsdonets rörelse varvid en ny styrtabell genereras och sänds till styrdatoren som påbörjar styrningen av fordonet efter denna nya tabell så snart närmandelan är avslutad. När sedan lastningsbanan 1223 eller lossningsrörelsen 1233 är avslutad sänder fordonsstyrdatoren 211 ett redomeddelande 961 till uppdragsdatorn som därvid beräknar parametrar för en dynamisk utgångsbana från den aktuella positionen till en punkt varifrån banan leder till en punkt där fortsatta banor kan följa i enlighet med det överordnade uppdragsprogrammet 61. När denna bana sedan körts och uppdragsdatorn återfått initiativet fortsätter hanteringen enligt uppdragsprogrammet med nya lastnings-, lossnings- eller transportuppgifter eller till ett vänteläge 110.

Under fordonets 1 rörelse är DTM-datorns 82 uppgift jämväl att jämföra erhållna mätvärden från den scannande laseravståndsmätaren 81 med tidigare känd modell av terräng, materialvolymer och hinder och därvid pröva kriterier för hinderupptäckt under alla skeden av autonom drift av fordonet.

Inmätning av mark/referensytta, materialvolymer och hinder

Den scannande laseravståndsmätaren 81 är placerad relativt högt, se figur 2, såsom på fordonstakets framkant och riktad framåt och snett nedåt. Varje stråle utgörs av en kort laserpuls och dess gångtid fram och åter används för mätning av avståndet mellan lasern och strålens träffpunkt i omgivningen. Genom en roterande spegel i scannern sveps dessa strålar i ett plan definierat av scannerns mekanik. Det plan vari strålarna sänds ut från den scannande laseravståndsmätaren är parallellt med det fordonsfasta koordinatsystemets 42 η -axel men är vinklat ner med vinkel β , från ett plan parallellt med det fordonsfastas koordinatsystemets axlar ξ och η . Strålarna träffar omgivningen i form av mark, materialvolymer eller annat föremål, såsom ett hinder, i punkter som bildar en kurva som på plan mark utgörs av en rät linje vinkelrät mot fordonets 1 längsaxel och sett i ett tvärsnitt i punkten P (figur 2). Den scannande laseravståndsmätaren 81 mäter vinkel α , se figur 4, i det lutande planet mellan fordonets riktning rakt förut och till ett antal punkter på omgivningen utmed ovannämnda kurva samt avstånd R från scannern till varje sådan punkt P.

Ortsvektorn $X = (\xi, \eta, \zeta)$ för positionen i det fordonsfastas koordinatsystemet 42 av varje sådan punkt kan nu beräknas med hjälp av dessa mätvärden α och R , den scannande laseravståndsmätarens 81 position (ξ_0, η_0, ζ_0) i det fordonsfastas koordinatsystemet samt den scannande laseravståndsmätarens lutningsvinkel β i förhållande till detta systems ξ/η plan:

$$\begin{aligned} \xi &= \xi_0 + R \cos\alpha \cos\beta \\ \eta &= \eta_0 + R \sin\alpha \\ \zeta &= \zeta_0 + R \cos\alpha \sin\beta \end{aligned} \quad | \quad (1)$$

Med dessa koordinater i det fordonsfastas koordinatsystemet samt utgående från den sex frihetsgraders positionsuppskattning som erhålls av det fordonsburna positionsbestämningssystemet 7 kan därefter koordinaterna i det jordfastas koordinatsystemet 41 för varje av den scannande laseravståndsmätaren inmätt punkt P beräknas. Från positionsbestämningssystemet 7 erhålls således den sex frihetsgraders positionsbestämning bestående av ortsvektorn $X = (X, Y, Z)$ och attitydvinklarna ψ , θ och ϕ , som kan användas i transformationsmatrisen $M(\psi, \theta, \phi)$:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}(\psi, \vartheta, \phi) = & \\ & \begin{bmatrix} \cos\psi\cos\vartheta, & \sin\psi\cos\vartheta, & \sin\vartheta \\ -\sin\psi\cos\phi + \cos\psi\sin\vartheta\sin\phi, & \cos\psi\cos\phi + \sin\psi\sin\vartheta\sin\phi, & -\cos\vartheta\sin\phi \\ -\sin\psi\sin\phi - \cos\psi\sin\vartheta\cos\phi, & \cos\psi\sin\phi - \sin\psi\sin\vartheta\cos\phi, & \cos\vartheta\cos\phi \end{bmatrix} \quad (2) \end{aligned}$$

Ortsvektorn $\mathbf{x}_{\text{las}} = (x_{\text{las}}, y_{\text{las}}, z_{\text{las}})$ i det jordfastas koordinatsystemet 41 för den inmätta punkten P kan nu beräknas som

$$\mathbf{x}_{\text{las}} = \mathbf{X} + \mathcal{X}^* \mathbf{M}(\psi, \vartheta, \phi) \quad (3)$$

Varje mätning med den scannande laseravståndsmätaren 81 resulterar således i en tre dimensioners koordinatbestämning i det jordfastas koordinatsystemet 41. Beräkningarna utförs i DTM-datorn 82, och dessa koordinater används till jämförelse med en dynamisk terrängmodell 821 i denna DTM-dator, såsom för att kunna upptäcka ett nytt hinder, för olika beräkningar av tillkomna materialvolymer etc samt för att vid behov uppdatera den dynamiska terrängmodellen.

En sådan terrängmodell 821 kan byggas på ett kvadratiskt rutnät med kvadratsidan d , och där en ruta betecknas (i, j) varvid dess fyra hörn har koordinaterna i planet X/Y:

$$\text{nedre vänstra hörnet: } (i-1, j-1)d \quad (4a)$$

$$\text{nedre högra hörnet: } (i-1, j)d \quad (4b)$$

$$\text{övre vänstra hörnet: } (i, j-1)d \quad (4c)$$

$$\text{övre högra hörnet: } (i, j)d \quad (4d)$$

Mittpunkten för en ruta betecknad (i, j) har koordinaterna i planet X/Y:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_i = (i - 0.5)d, \quad 1 \leq i \leq imax \\ Y_j = (j - 0.5)d, \quad 1 \leq j \leq jmax \end{array} \right. \quad (5a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_i = (i - 0.5)d, \quad 1 \leq i \leq imax \\ Y_j = (j - 0.5)d, \quad 1 \leq j \leq jmax \end{array} \right. \quad (5b)$$

Varje mätning \mathbf{x}_{las} kan då jämföras med eller uppdateras terrängmodellen 821 i rutan (i, j) där dessa index i och j bestäms av villkoren

$$\left\{ \begin{array}{l} (i - 1)d < x_{\text{las}} \leq id \\ (j - 1)d < y_{\text{las}} \leq jd \end{array} \right. \quad (6a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (i - 1)d < x_{\text{las}} \leq id \\ (j - 1)d < y_{\text{las}} \leq jd \end{array} \right. \quad (6b)$$

Den dynamiska terrängmodellen DTM 821 ska fungera i varje punkt av hela arbetsområdet dels för jämförelse med nya mätningar (hinderdetektering), dels för beräkning av koordinater 9811 och 9812 för optimala angreppspunkter 1222 för lastskopans ingång i materialvolymen 181 respektive tömningspunkter 1232 för lastskopan vid lossning samt optimala lastningsbanor 1223 och lossningsrörelser 1233 av fordon 1 och lasthanteringsdon 14, innefattande volymberäkningar av lastad volym respektive utrymme för lossning av material för olika anslutna parametrar för dessa rörelser. Vissa delar av DTM kan vara uppgjorda *a priori* medan andra baseras eller uppdateras också i viktiga lager av gjorda mätningar med den scannande laseravståndsmätaren. Till varje ruta (i, j) i DTM, $1 \leq i \leq imax$ och $1 \leq j \leq jmax$ kan ett visst ordningsnummer n beräknas så att mot varje n svarar entydigt en viss ruta (i, j) och mot varje ruta (i, j) svarar samma tal n :

$$n = \left\{ \begin{array}{l} i \cdot imax + j \text{ om } jmax \leq imax \\ i + j \cdot jmax \text{ om } imax < jmax \end{array} \right\} \quad (7a)$$

eller omvänt

$$i = \begin{cases} \text{heltalsdelen av bråket } n/\text{imax} & \text{om } j\text{max} \leq \text{imax} \\ n - j\cdot j\text{max} & \text{om } \text{imax} < j\text{max} \end{cases} \quad (7b)$$

$$j = \begin{cases} n - i \cdot \text{imax} & \text{om } j\text{max} \leq \text{imax} \\ \text{heltalsdelen av bråket } n/\text{imax} & \text{om } \text{imax} < j\text{max} \end{cases} \quad (7c)$$

Olika lager kan användas i DTM för att skilja på olika slag av zoner och data i DTM. Se figur 17. Med beteckningen $Z(\text{LAG}, n)$ avses Z-koordinat i lager LAG för element n i DTM. I det följande används:

Lager 0. Indexnummer

Lager 1. $Z(1, n)$ är baserat på mätningar enbart från fordonets aktuella färd i en bana för att upptäcka och mäta in referensytan 17, hanteringsobjekt 180, materialvolymer 181, eller hinder 182.

Lager 2. $Z(2, n)$ representerar referensytan 17 utan hanteringsobjekt, materialvolymer, kända och okända hinder.

Lager 3. $Z(3, n)$ avser hanteringsobjekt, materialvolymer och kända hinder för vilka ingående Z-värden för elementen i modellen bygger på mätningar från tidigare uppdrag inom arbetsområdet eller på annat sätt inmatade grunduppgifter och att därvid vad gäller hindervärden från eventuella mätningar mot tidigare icke kända men efter upptäckten borttagna hinder harrensats bort och ersatts med värden som avser samma element utan okända hinder.

Lager 4. $Z(4, n)$ är ett markeringsfält för hinderfri zon 191, varvid $Z(4, n) = 1$ betyder att elementet ligger i hinderfri zon.

Lager 5. $Z(5, n) = 1$ betyder att elementet ligger i spaningszon 192.

Lager 6. $Z(6, n) = 1$ betyder att elementet ligger i lastningszon 193.

Lager 7. $Z(7, n) = 1$ betyder att elementet ligger i lossningszon 194.

Mätvärden avseende element n kan lagras på flera olika sätt, beroende på användningen:

- Senast inkomna Z-värde, betecknat $Z_{-1}(\text{LAG}, n)$, lagras. Det lagrade värdet betecknas $Z_0(\text{LAG}, n)$
- Ett glidande medelvärde av de k senaste mätningarna lagras och betecknas här $Z_0(\text{LAG}, n)$, dvs

$$Z_0(\text{LAG}, n) = [Z_{-1}(\text{LAG}, n) + Z_{-2}(\text{LAG}, n) + \dots + Z_{-k}(\text{LAG}, n)] / k \quad (8a)$$

- Ett rekursivt filter med den erfarenhetsmässiga filterkonstanten γ , $0 < \gamma < 1$ används för att uppdatera lagrat värde $Z_0(\text{LAG}, n)$ med senaste mätning $Z_{-1}(\text{LAG}, n)$. Filtret initialiseras här med: $Z_0(\text{LAG}, n) = Z_{-1}(\text{LAG}, n)$ första gången en mätning avser element (n), sedan tillämpas följande formel

$$Z_0(\text{LAG}, n) = \gamma Z_0(\text{LAG}, n) + (1-\gamma)Z_{-1}(\text{LAG}, n) \quad (8b)$$

Denna metod är lämplig om man, som i det aktuella fallet, räknar med att erhålla ett stort antal mätningar för varje element (n).

Kriterium för hinderdetektering

Autonom köring tillåts i hinderfria zoner 191 samt inom lastnings- 193 och lossningszon 194 Tillhörighet av ett element i hinderfri zon utesluter ömsesidigt tillhörighet i lastnings- eller

lossningszon. Hinderdetekteringsfunktionens syfte är att i varje element n där $Z(4,n) = 1$ och som ligger inom eller i en viss närhet av fordonet i sin aktuella eller planerade position testa hypotesen att kriteriet $H \leq [Z(1,n) - Z(2,n)]$ är uppfyllt för en minsta hinderhöjd H.

Genom att använda skillnaden $Z(1,n) - Z(2,n)$ erhåller man vid ojämnn referensyta noggrannare mätning av materialvolymer och hinder. Se figur 17. Beslut om hinder föreligger eller ej i element n kan baseras på någon form av statistisk hypotesprövning med givna risker för att fatta fel beslut genom att godta att hypotesen är sann utan att det föreligger hinder i elementet respektive att förkasta hypotesen trots att det finns ett hinder i elementet. När väl beslutet är fattat kan man lägga in en fast hindermarkering i lagret 3 avseende det aktuella hindret.

Uppbyggnad och underhåll av materialvolymsmodeller

När fordonet under spaningsbana 111 kommer in i spaningszon 192 används de mätningar som avser element inom lastnings- 193 eller lossningszon 194 för att bygga upp och underhålla materialvolymsmodellen inom zonen. Primärt är syftet att skapa underlag för aktuell närmandest 121 samt lastningsbana 1223 eller lossningsrörelse 1233, men genom att spara mätningar till kommande uppdrag erhåller man en dynamisk modell som kan ha vissa fel eftersom materialvolymens 181 form kan ha ändrats under operationen efter mätningsserien i spaningsbanan. Samtidigt kan dock intilliggande områden ha blivit uppdaterade och totalt sett kan denna modell användas för planering av kommande uppdrag. Genom att efter varje uppdrag lägga in aktuella mätningar från det avslutade uppdraget i lager 3 har man där en aktuell materialvolymsmodell i DTM för alla lastnings- 193 och lossningszoner 194.

Med en rutstorlek av $0.33 * 0.33$ m för varje element i DTM täcks en yta av 10 ha med cirka en miljon rutor. Om man för varje ruta lagrar 32 byte index, Z-värden, dataålder- och noggrannhetsuppgift i den dynamiska terrängmodellen 821 erfordras ett lagringsutrymme av 32 Mbyte i DTM-datorn 82 för denna modell och kan medge en upplösning av cirka 1/64000 i Z-led.

Beräkning av för lastskopan lämplig angreppspunkt 1222 vid lastning eller tömningspunkt 1232 vid lossning

Flera olika faktorer påverkar valet av angreppspunkt för lastning. Körsträckan inom spanings- och lastningszon 193 för att föra fordonet till ett läge, lastningspunkten 1221, så att lastskopans 142 framkant befinner sig vid den avsedda angreppspunkten 1222 för lastning har betydelse eftersom det är angeläget att minimera totala transportsträckan under ett uppdrag. Vidare bör man välja lastning så att följande lastningsrörelser inte hindras genom att kvarlämnat material ligger i vägen. Dessa faktorer gäller också vid lossning. Ett sätt att åstadkomma maximal rörelsefrihet för efterföljande dynamiska närmandest- och transportbanor liksom lastningsbanor och lossningsrörelser är att sträva efter en rak front i materialvolymen genom att välja angreppspunkt för lastskopans ingång i en materialvolym vid lastning respektive tömningspunkt för lastskopan vid tömning så att avvikelserna mellan framkanten på materialvolymen och en rät linje blir så små som möjligt efter varje hantering i materialvolymen. Ett ytterligare önskemål är att undvika lastning mot alltför obetydliga materialrester inom lastningszonen.

En metod för att åstadkomma en möjligast rak front på materialvolymen och samtidigt minimera transportavstånden är att välja angreppspunkt 1222 för lastning, och tömningspunkt 1232 för lastskopan vid lossning, efter frontens minsta respektive största avstånd till en rät linje som har samma riktning som den tänkta linje som materialvolymens front önskas anpassad till. För DTM har tidigare definierats att $Z(6,n) = 1$ betyder att elementet ligger i lastningszon 193 och $Z(7,n) = 1$ betyder att elementet ligger i lossningszon 194.

Tröskelnivåer H_{lastn} och H_{lossn} på minsta lastningsvärda volymhöjd respektive högsta fyllda volymhöjd för lossning används för att undvika att alltför små spillhögar, materialrester och ojämnheter i den befintliga materialvolymen ger en slumpartad styrning av hanteringen.

Lämpligaste angrepps- respektive tömningpunkt

a) baserat på närmaste resp mest avlägsna punkt i materialvolymen räknat från en punkt eller linje:

När fordonet 1 för en lastningsuppgift kör framåt på spaningsbana 111 och börjar närlämma sig den aktuella materialvolymen 181 inom lastningszonen 193 så kommer, under förutsättning att det finns material kvar att lasta, mätningar att börja avse element av DTM 821 inom lastningszonen med en höjd över tröskelnivån för lastning. För att vid situationer med ett flertal för lastning lämpliga element i DTM undvika att endast det första elementet som medföljer händelsen att det mäts in med tröskelöverskridande höjd används som angreppspunkt för lastning fordras att fordonet framförs ytterligare en på förhand bestämd sträcka på spaningsbanan efter denna händelse. Slutpunkten på denna sträcka benämns upptäcktpunkt 1111. Vid upptäcktpunkten har därvid antingen ett flertal element blivit uppmätta och kan användas för val av angreppspunkt för lastning eller så är det först upptäckta elementet ensamt i en tillräckligt stor omgivning så att det därför kan användas som enda element för att bestämma koordinater för angreppspunkten för lastning 1222. På motsvarande sätt kan en upptäcktpunkt för lossning beräknas. Ett kriterium för uppnående av upptäcktpunkt vid lossning är att fordonet hunnit förflytta sig en given sträcka sedan mätningar börjat komma avseende element inom DTM utan utrymme kvar för lossning, alternativt att ytan är tom varför spaningsbanan kan avbrytas när lossningsytans bortre gräns med erforderlig marginal blivit passerad av den scannande laseravståndsmätarens 81 in-mätningar. Lossningen kan påbörjas vid dess bortre gräns.

Vid upptäcktpunkten är det således möjligt att ställa upp de binära beläggningstabellerna $Q_{lastn}(i,j)$ och $Q_{lossn}(i,j)$ med ekvationerna:

$$Q_{lastn}(n) = \begin{cases} 0 & \text{om } [Z(1, n) - Z(2, n)] < H_{lastn} \\ 1 & \text{om } H_{lastn} \leq [Z(1, n) - Z(2, n)] \end{cases} \quad (9a)$$

resp

$$Q_{lossn}(n) = \begin{cases} 0 & \text{om } H_{lossn} \leq [Z(1, n) - Z(2, n)] \\ 1 & \text{om } [Z(1, n) - Z(2, n)] < H_{lossn} \end{cases} \quad (9b)$$

För en normal till den raka front som man vill upprätthålla används, se figur 6 och 7, en fotpunkt 1931 med koordinaterna (X_0, Y_0) och en indikeringsvektor 1932 med komponenterna (X_N, Y_N). Som angreppspunkt för lastning väljs då med en standardformel ur analytisk geometri vid lastning och lossning det element $n = n_{lastn}$ respektive $n = n_{lossn}$ med koordinaterna (X_{lastn}, Y_{lastn}) och (X_{lossn}, Y_{lossn}) som ligger närmast respektive längst ifrån en linje vinkelrät mot denna indikeringsvektor och genom fotpunkten 1931, och där element n_{last} också uppfyller bivillkoren:

för lastning

$$\begin{cases} Q_{lastn}(n_{lastn}) = 1 \\ Z(6, n_{lastn}) = 1 \end{cases} \quad (10a)$$

$$\begin{cases} Q_{lossn}(n_{lossn}) = 1 \\ Z(6, n_{lossn}) = 1 \end{cases} \quad (10b)$$

respektive att element n_{lossn} för lossning ska uppfylla villkoren

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{lossn}(n_{lossn}) = 1 \\ \end{array} \right. \quad (11a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(7, n_{lossn}) = 1 \\ \end{array} \right. \quad (11b)$$

b) baserat på närmaste resp mest avlägsna punkt i en cell som ingår i en ordnad följd:

I detta alternativ ingår varje element n för vilket $Z(6,n)=1$ eller $Z(7,n)=1$ i en ordnad följd $N=1,2,3,\dots, NMAX$ av celler varvid $\Gamma(N,n)=1$ betecknar att element n ingår i cell N . Vid lastning och lossning utökas därvid bivillkoren (10) respektive (11) med

$$\Gamma(N, n_{lastn}) = 1 \quad (10c)$$

$$\Gamma(N, n_{lossn}) = 1 \quad (11c)$$

där cell N är den cell som för tillfället är aktuell för lastning/lossning.

Bangenerering vid ingång i och utgång ur lagringsyta med materialvolym

Ett operationsuppdrag 9 som innefattar lastning eller lossning förutsätts innehålla minst en i förväg planerad och således statisk spaningsbana 111 som fordonet 1 skall följa medan dess sensorer mäter in och analyserar den materialvolym 181 varifrån eller till vilken lastning resp lossning skall ske, se figur 6 och 7. Vid fordonets färd utefter denna spaningsbana erhålls därfor vid upptäcktpunkten 1111 koordinater för en angreppspunkt 1222 för lastskopans 142 ingång i en materialvolym vid lastning, respektive tömningspunkt 1232 för lastskopan vid lossning, som ett resultat av analysen i DTM-datorn 82 med hjälp av ovan redovisade villkor och kriterier av den under fordonets genomgång av spaningsbanan uppdaterade dynamiska terrängmodellen 821. Därvid skickar DTM-datorn ett upptäcktsmeddelande 981 till uppdragsdatorn 6 med erhållna koordinater för den aktuella angreppspunkten för lastskopans ingång i en materialvolym vid lastning eller tömningspunkten för lastskopan vid lossning. Med kännedom om den tid i systemet som erfordras för att, i uppdragsdatorn behandla den erhållna informationen i form av att räkna ut parametrar 9311 för den dynamiska närandebana 121 som kan bestämmas i detta läge och på basis av dessa parametrar beräkna och vidarebefordra styrtabeller 971 avseende fordonets bana och fordonets rörelse under detta bansegment, kan därefter läget för en växlingspunkt 1112 bestämmas, vid vilken fordonets bana och rörelse kan övergå från spaningsbanan till det nu aktuella dynamiska bansegmentet för närandebanan. Således erfordras vid upptäckt av angreppspunkt för lastskopans ingång i en materialvolym vid lastning eller tömningspunkt för lastskopan vid lossning att en dynamisk närandebana beräknas för att föra fordonet från växlingspunkten fram till ett läge, lastningspunkten 1221, där lastningen just ska påbörjas med maskinen redo för lastning med lastskopan 142 sänkt till avsedd nivå med framkanten i angreppspunkt 1222 för lastskopans ingång i en materialvolym eller vid lossning med fordonet positionerat i en lossningspunkt 1231 så att lastskopan kan gå in med lämplig höjd på tömningspunkten 1232 för lastskopan för att kunna fullgöra den aktuella lossningsrörelsen 1233 med lasthanteringsdonet 14. Koordinaterna (X_c, Y_c, Z_c) för fordonets position i lastningspunkten beräknas utgående från angreppspunktens koordinater med kännedom om fordonets och lasthanteringsdonets geometri och aktuella riktning ψ_c . På motsvarande sätt beräknas dessa koordinater för fordonets position i en lossningspunkt.

Eftersom det är sannolikt att den valda lastnings- eller lossningspunkten inte befinner sig rakt framför fordonet och på spaningsbanans förlängning så krävs att den dynamiska närandeba-

nan 121 på vägen från växlingspunkten 1112 dels förskjuter fordonet i sidled, dels leder fordonet fram till avsedd riktning i lastnings- 1221 eller lossningspunkten 1231. Således erfordras en mer- eller mindre s-formad bana. Genom att vid bangenereringen använda såväl klotoid-, cirkelbågsformade som raka bansegment, där klotoidsegmenten innebär att banans radie varierar kontinuerligt från räkbana till minsta krökningsradie, kan man åstadkomma en stor variation av sådana banor med små styrfel. En enkel modell av måttlig komplexitet som fungerar bra, se figur 9, består av två krökar och en mellanliggande räkbana. I den första kröken genomgår banan en kursändring med vinkeln α_1 och i den andra kröken vinkeln α_2 . Varje krök består av ett klotoidpar samt, för stora α_1 och α_2 , av en cirkelbåge inlagd mellan den krökande och rätande klotoiden i sådana krökar. För en enkel bana utan hinder och där startpunkt och ändpunkt är givna i form av tvådimensionella koordinatvektorer och kursvinkelar X_A, ψ_A resp X_C, ψ_C så består en enkel formulering av problemet att beräkna banans utseende av tre ekvationer, en för X-koordinat, en för Y-koordinat och en för kursvinkel ψ . Formuleringen motsvarar följande variabler och ekvationer:

$X_A = (X_A, Y_A, Z_A)$ och ψ_A är koordinater och kursvinkel i det jordfasta koordinatsystemet 41 för fordonet 1, specifikt dess fordonsfasta koordinatsystem 42, i växlingspunkt 1112 spanings/närmandebana.

$X_C = (X_C, Y_C, Z_C)$ och ψ_C är koordinater och kursvinkel i det jordfasta koordinatsystemet 41 för fordonet 1, specifikt dess fordonsfasta koordinatsystem 42, i lastnings- 1221 respektive lossningspunkt 1231.

De tre ekvationerna kan skrivas ($A = \text{skalfaktor}$):

$$X_C - X_A = A \sum_{k=1}^7 X(k), \text{ vektoriell ekvation i två dimensioner } X \text{ och } Y \quad (12a)$$

$$\psi_C - \psi_A = \sum_{k=1}^7 \psi(k) \quad (12b)$$

varvid den tvådimensionella vektorn $X(k)$ och vinkeln $\psi(k)$ är bidraget i koordinaterna X och Y respektive kursvinkel ψ från vardera av bansegmenten nr $k = 1, 2, 3, \dots, 7$.

Var och en av den sammansatta kurvans två krökar, består således av en krökande och en rätande klotoidkurva samt, om totala kursändringen α_i i kröken nummer "i" är större än ett värde α_0 , en mellan de båda klotoidsegmenten inlagd cirkelbåge med krökande vinkel $\alpha_c = \alpha_i - \alpha_0$

Vi använder vektorn $\text{klot}(M, s_i)$ för den krökande klotoidkurvan i krök nr i som funktion av parametern s_i och med/mot-faktorn M_i

$$\begin{aligned} u &= s_i & u &= s_i \\ \text{klot}(M_i, s_i) &= [\int_{u=0}^{u^2/2} \cos(u^2/2) du, M_i \int_{u=0}^{u^2/2} \sin(u^2/2) du] & & \end{aligned} \quad (13a)$$

och vektorn $\text{cirk}(M_i, \alpha_c)$ för cirkelbågen som funktion av dess krökande vinkel α_c och med/mot-faktorn M_i

$$\text{cirk}(M_i, \alpha_c) = [\sin \alpha_c, M_i(1 - \cos \alpha_c)] \quad (13b)$$

där

$$S_i = \begin{cases} \sqrt{\alpha_i} & \text{om } \alpha_i < \alpha_o \\ \sqrt{\alpha_o} & \text{om } \alpha_o \leq \alpha_i \end{cases} \quad (13c)$$

$$M_i = \begin{cases} 1 & \text{för medurs vridning i krök nummer } i \text{ för växande } S_i \\ -1 & \text{för moturs i d:o} \end{cases} \quad (13d)$$

Vi använder följande beteckning för tvådimensionella matriser för koordinattransformation

$$M(\psi_i) = \begin{bmatrix} \cos \psi_i & -\sin \psi_i \\ \sin \psi_i & \cos \psi_i \end{bmatrix} \quad (14)$$

De sju delsegmentens bidrag till termerna i ekv (12a) och (12b) kan nu ställas upp. För delsegment 1-3 och 5-7 används beteckningarna M_1 respektive M_2 för deras medmotfaktorer och beteckningarna α_1, S_1 och α_2, S_2 för vinklar och argument till deras klotoidvektorer.

Delsegment 1. Krökande klotoid i första bankröken

$$X(1) = \text{klot}(M_1, S_1) * M(\psi_A) \quad (15a)$$

$$\psi(1) = \begin{cases} 0.5M_1 \cdot \alpha_1 & \text{om } \alpha_1 \leq \alpha_o \\ 0.5M_1 \cdot \alpha_o & \text{om } \alpha_o < \alpha_1 \end{cases} \quad (15b)$$

Delsegment 2. Cirkelbåge. Utesluts om $\alpha_1 \leq \alpha_o$

$$X(2) = \text{cirk}(M_1, \alpha_1 - \alpha_o) * M(\psi_A + 0.5M_1 \cdot \alpha_o) \quad (16a)$$

$$\psi(2) = M_1 \cdot (\alpha_1 - \alpha_o) \quad (16b)$$

Delsegment 3. Rätande klotoid. Räknas med hjälp av att i två ortogonala riktningar spegelvända vektorn för krökande klotoid från den punkt där banan övergår från klotoid till rakbana

$$X(3) = \text{klot}(-M_1, S_1) * M(\psi_A + M_1 \cdot \alpha_1) \quad (17a)$$

$$\psi(3) = \psi(1) \quad (17b)$$

Delsegment 4. Rakbana, kursändring noll. Längd = LNGD·A där A = skalfaktorn, gemensam för hela kurvan.

$$\mathbf{X}(4) = (L, 0) * \mathbf{M}(\psi_A + M_1 \cdot \alpha_1) \quad (18a)$$

$$\psi(4) = 0 \quad (18b)$$

Delsegment 5. Krökande klotoid i andra bankröken

$$\mathbf{X}(5) = \mathbf{klot}(M_2, S_2) * \mathbf{M} (\psi_A + M_1 \cdot \alpha_1) \quad (19a)$$

$$\psi(5) = \begin{cases} 0.5M_2 \cdot \alpha_2 & \text{om } \alpha_2 \leq \alpha_0 \\ 0.5M_2 \cdot \alpha_0 & \text{om } \alpha_0 < \alpha_2 \end{cases} \quad (19b)$$

Delsegment 6. Cirkelbåge. Utesluts om $\alpha_2 \leq \alpha_0$

$$\mathbf{X}(6) = \mathbf{circ}(M_2, \alpha_2 - \alpha_0) * \mathbf{M} (\psi_A + M_1 \cdot \alpha_1 + 0.5M_2 \cdot \alpha_2) \quad (20a)$$

$$\psi(6) = M_2 \cdot (\alpha_2 - \alpha_0) \quad (20b)$$

Delsegment 7. Rätande klotoid. Räknas med hjälp av att i två ortogonala riktningar spegelvända vektorer för krökande klotoid från banans ändpunkt med kursvinkel ψ_c .

$$\mathbf{X}(7) = \mathbf{klot}(-M_2, S_2) * \mathbf{M}(\psi_c) \quad (21a)$$

$$\psi(7) = \psi(5) \quad (21b)$$

I uppdragsdatorn 6 löses ekvationssystemet (12) genom ansats av de båda olika möjliga kombinationerna av medurs och moturs gång i första respektive andra bankröken samt ansats av ett antal olika startvärden på variablerna LNGD, α_1 och α_2 , varvid konvergens prövas i ekv (12) vid ett antal iterationer av numerisk lösning av icke linjära ekvationssystem, såsom med Newton-Raphsons metod. I den beräknade banan kan fordonet 1 köra banan såväl framlänges som baklänges.

Optimering av lastningsrörelse utgående från terrängmodell och modell av lasthanteringsdonets och skopans mekanik

När rapportpunkten 1211 nåtts och lastningsbanemeddelande 982 sänts över från DTM-datorn, används detta meddelandes data i form av koeficienter 9821 för markplanet vid lastningspunkten samt höjdprofiltabell 9822 för att i uppdragsdatorn 6 beräkna parametrar i en dynamisk lastningsbana 1223. Därvid beräknas med vilken hastighet och hur djupt in i materialvolymen 181 som lastskopan 142 ska föras och vilken rörelse lastskopan ska utföra i lyft- och tippled vid fordonets 1 gång in i materialvolymen för att lasta avsedd eller maximal mängd av materialet på minsta möjliga tid med beaktande av bivillkor som att slirning, överbelastning och spill ska undvikas.

Modell av markplanet i en omgivning av lastningspunkten

För beräkning av lastskopans 142 rörelse i det jordfasto koordinatsystemet 41 behövs en uppskattning av det fordonsfasto koordinatsystemets 42 position i sex frihetsgrader i det jordfasto koordinatsystemet 41 för varje läge av fordonet 1 i lastningsbanan 1223.

Genom att inträngningen i materialvolymen 181 normalt bara är en relativt kort sträcka, typiskt $1 - 3$ meter, så kan en enkel plan yta användas som modell och dess fel i förhållande till den verkliga markytans topologi kan i praktiken försummas. Vi antar således att fordonets hjul kommer att rulla på denna plana yta under hela lastningsförlöppet. En ekvation för markplanmodellen i en omgivning av lastningspunkten 1221 med koordinaterna (X_c, Y_c) blir då:

$$XX_N + YY_N + ZZ_N = C \quad (22)$$

En praktiskt användbar uppskattning av koefficienterna X_N , Y_N och Z_N samt konstanten C kan beräknas med hjälp av DTM 821 för en mängd punkter på referensytan 17 i en omgivning av lastningspunkten 1221 . Minsta kvadratmetoden kan användas för beräkningarna om man har minst 5 representativa element ur DTM, och helst en tiopotens fler, vilket med ovan angivna storlekar på elementen i DTM inte bör vara något problem i de flesta fall. Dessa beräkningar i DTM-datorn 82 utförs med aktuella värden i DTM innan fordonet kommer fram till den rapportpunkt 1211 på den dynamiska närmandelbanan 121 , där lastningsbanemeddelandet 982 baserad på aktuella mätningar av terräng och materialvolym 181 ska sändas över till uppdragsdatorn 6 för beräkning av parametrar i den dynamiska lastningsbanan 1223 . När i detta meddelande ingående koefficienter 9821 för markplanet vid lastningspunkten är översända till uppdragsdatorn, kan uppdragsdatorn beräkna en transformationsmatris $M(\psi_c, \theta_c, \varphi_c)$ för lastningsförlöpet för att enligt (3) omvandla koordinater i det fordonsfasta koordinatsystemet 42 till koordinater i det jordfasta koordinatsystemet 41 . För denna plana yta gäller för en bana från lastningspunkten 1221 vid körd sträcka s i lastningsbanans riktning ψ_c :

$$\left\{ \begin{array}{l} X(s) = X_c + s \cos(\psi_c) \\ Y(s) = Y_c + s \sin(\psi_c) \end{array} \right. \quad (23a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X(r) = X_c - r \sin(\psi_c) \\ Y(r) = Y_c + r \cos(\psi_c) \end{array} \right. \quad (24a)$$

Tvärs banan i η -axelns riktning gäller för en sträcka r från lastningspunkten 1221 :

$$\left\{ \begin{array}{l} X(r) = X_c - r \sin(\psi_c) \\ Y(r) = Y_c + r \cos(\psi_c) \end{array} \right. \quad (24a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(s) = [C - X(s) X_N - Y(s) Y_N] / Z_N \\ Z(r) = [C - X(r) X_N - Y(r) Y_N] / Z_N \end{array} \right. \quad (25b)$$

En uppskattning av $Z(s)$ som en funktion av körd och som projektion av lastningsbanan 1223 på x/y-planeträknad sträcka s längs och en sträcka r tvärs banan från lastningspunkten 1221 kan nu beräknas ur (22), ekvationen för modellen av referensytan 17

respektive $Z(s) = [C - X(s) X_N - Y(s) Y_N] / Z_N \quad (25a)$

$Z(r) = [C - X(r) X_N - Y(r) Y_N] / Z_N \quad (25b)$

För ett fordon 1 som vid måttliga lutningar kan antas stå om inte i våg så dock plant på underlaget invid lastningspunkten 1221 kan tipp och rollvinklar θ_c respektive φ_c för ett fordonsfast koordinatsystem 42 uppskattas:

ur ekvationerna 23 a) och b) samt (25a):

$$\tan(\theta_c) = dZ(s) / ds = - X_N \cos(\psi_c) - Y_N \sin(\psi_c) \quad (26a)$$

ur ekvationerna 24 a) och b) samt (25b):

$$\tan(\varphi_c) = dZ(r) / dr = X_N \sin(\psi_c) + Y_N \cos(\psi_c) \quad (26b)$$

Materialvolymens 181 höjdprofil 1811 i angreppspunkten 1222

Utgående från den i DTM 821 inmätta del av materialvolymen 181 som förväntas kunna bli berörd av den förestående lastningsrörelsen kan i DTM-datorn 82 beräknas en höjdproftabell 9822 i jordfasta koordinater 41. Genom att låta en vektor s i horisontalplanet och riktad i angivna lastningsriktning ψ_c samt en vektor Z i Z-axelns riktning spänna upp ett plan kan man i detta plan beräkna en höjdproftabell i jordfasta koordinater varvid denna tabell tillsammans med en modell av lastskopan 142 kan användas för att beräkna lämpliga rörelser med fordon 1 och lastskopa under lastningsförloppet.

$$\begin{cases} s \\ \end{cases} = (\cos\psi_c, \sin\psi_c, 0) \quad (27a)$$

$$\begin{cases} Z \\ \end{cases} = (0, 0, 1) \quad (27b)$$

Vidare införs att höjdprofilen i riktningarna s och Z definieras i variablerna S_g respektive Z_{lastn} med origo i X-och Y-led motsvarande angreppspunktens 1222 koordinater X_{lastn} , Y_{lastn} och i Z-led $Z(1,n)=0$ enligt DTM.

En sådan höjdprofil 1811 kan, se figur 14, approximeras ur DTM 821, varur höjdproftabell 9822 $Z_{lastn} = Z_{lastn}(S_g)$ utgör uppskattad medelhöjd av materialvolymen 181 i en mängd av element $\{n_{ij}, j=1,2,3,\dots,j_{max}\}$ utmed och inom ett givet avstånd från en tänkt linje längs lastskopans 142 framkant för ett värde $S_g = i \cdot d$, där d är ett lämpligt samplingsavstånd mellan konsekutiva värden på S_g :

$$Z_{med}(S_g) = \sum_{j=1}^{j_{max}} Z(1,n_{ij})/j_{max}; \quad i = S_g / d \quad (28)$$

Ur ovanstående värden kan sedan en kontinuerlig kurva $Z_{lastn} = Z_{lastn}(S_g)$ erhållas enligt minsta kvadratmetoden genom en styckvis linjär approximation eller genom ett approximerande polynom.

Beräkning av lastskopans 142 rörelse i ett jordfast koordinatsystem 41

Vid en lastningsrörelse förs lastskopan 142 in i materialvolymen 181, lyfts upp och roteras med hjälp av fordonets 1 rörelse i sin bana i ett jordfast koordinatsystem 41 och med hjälp av de rörelser i ett fordonsfast koordinatsystem 42, som utförs av lasthanteringsdonets 14 mekanik 141, dvs väsentligen dess vanliga hydrauliska lyft- och tiltcylindrar, de armar och ledar som ingår i mekaniken och som sätts i rörelse av hydraulcylindrarna, samt lastskopan 142 som är fäst i ett av elementen i mekaniken. Figur 12 visar i genomskärning lasthanteringsdonets mekanik 141 och lastskopan 142 samt främre delar (ett hjul och del av chassis) av ett lastfordon. Under sin rörelse skär lastskopan ut en mängd material ur materialvolymen. Eventuellt förekommer också ett visst spill till följd av att lastskopan inte rymmer delar av den utskurna materialvolymen. Vid ingång med lastskopan i materialvolymen är det oftast lämpligt att börja så lågt som möjligt för att säkerställa att materialet inte blir kvar på en yta som fordonet sedan ska befara. Samtidigt bör man styra hydraultrycket till lasthanteringsdonets lyftcylinder för att under inträngningen i materialvolymen lätta lastskopan, främst för att reducera lastskopans friktion mot marken och därmed förhindra onödigt slitage på lastskopan och slimning på drivhjulen.

Genom att före lastningen, utgående från i DTM-datorn 82 beräknade koeficienter 9821 för markplanet vid lastningspunkten och höjdproftabell 9822 avseende materialvolymen 181, beräkna lastad mängd material som funktion av inträngningen i materialet, kan man också med användning av kännedomen om fordonets och lasthanteringsdonets mekanik och övriga egen-

skaper beräkna önskvärt hydraultryck till lyftcylindern som funktion av inträngningen i materialvolymen så att ovannämnda slitage av lastskopan 142 minimeras samtidigt som slirning undviks. Det går också att beräkna hur mycket lastskopan rymmer som funktion av lyft- och tippcylindrarnas utslag. Tiltörelsen möjliggör ökning av lastskopans rymmande volym men ökar samtidigt upplagsreaktionen så länge lastskopan fortfarande förs in i materialvolymen. Tiltrörelsen bör därför i princip inte påbörjas förrän inträngningen av lastskopan horisontellt i materialvolymen är avslutad och kan således kombineras med att lastskopan lyfts upp ur materialvolymen. Med ovannämnda parametrar och erfarenhetsmässiga ansatser kan man således styra fordon 1 och lasthanteringsdon 14 genom hela lastförlloppet utgående från den inmätta terrängmodellen 821. Lyftrörelsen kan avbrytas när lastskopans 142 skärande kant beräknas bryta ige- nom materialvolymens yta på sin väg upp ur volymen. Tiltrörelsen kan avbrytas när tillräcklig tilt utförs för att säkra lasten i transportläge.

Genom att beräkna, för ett antal tillstånd $k = k(t) = 0,1,2,\dots$ som funktion av löpande tid t , lastskopans 142 position uttryckt i koordinaterna $[x(t), y(t), z(t)]$ i ett jordfast koordinatsystem 41 för ett antal punkter i lastskopans geometri, skapas möjlighet att kvantitativt uppskatta såväl utskuren och lastad volym som storlek och riktning på de tyngder och reaktionskrafter som lastskopan förväntas komma att bli utsatt för under varje sådant steg av lastningsförloppet och därav även beräkna erforderliga åtgärder vad gäller styrning av cylinderutslag och hydraultryck under förloppet för att förhindra slitage av lastskopan och slirning på drivhjulen. Dessutom kan rörelsen planeras så att lastskopans rörelse medföra att den fylls vid minimalt spill.

Beräkningen bygger på cylindrarnas utslag som funktion av tiden och deras inverkan på lasthanteringsdonets 14 mekanik 141 med hjälp av en matematisk modell i analytisk geometri. Beräkningarna sker i ett fordonsfast koordinatsystem 42 varefter erhållna koordinater (ξ, η, ζ) transformeras till ett jordfast koordinatsystem 41. Styrvinkeln kan antas vara noll och koordinaten η för varje punkt i lasthanteringsdonet således konstant under hela lastningsförloppet, varvid lägesuppgiften som erhålls från fordonets 1 positionsbestämningssystem 7 när fordonet just ska påbörja lastningsrörelsen används för att göra en prediktering, i det jordfasta koordinatsystemet 41, av det fordonsfasta koordinatsystemets 42 position i sex frihetsgrader för varje tillstånd $k(t) = 0,1,2,\dots$ i lastningsbanan 1223. Utgående från denna prediktering transformeras sedan för varje tillstånd $k(t) = 0,1,2,\dots$ enligt ovan samtliga koordinater i lasthanteringsdonets mekanik 141 till koordinater i det jordfasta koordinatsystemet.

Lasthanteringsdonets mekanik 141 utgörs av ett antal sammanlänkade rigida element varav ett utgörs av lastskopan 142 och där varje hydraulcylinder kan delas upp i ett par rigida och i förhållande till varandra linjärt rörliga element. För beräkning av cylindrarnas inverkan på lastskopans läge samt momentant effektbehov under en lastningsbana 1223 eller lossningsrörelse 1233 kan vid styrvinkel noll denna mekanik med god noggrannhet representeras av en struktur i två dimensioner, ξ (framåt) och ζ (uppåt), i det fordonsfasta koordinatsystemet 42. De rigida elementen, bestående av plana armar och stänger och lastskopan representerad av en knutpunkts-polygon i ett plan, är sammanlänkade med ett antal axlar vinkelräta mot ξ/ζ -planet och kan därför representeras av axel- och tyngdpunkter i detta plan. Varje sådan punkt är tillordnad ett unikt nummer i en global, dvs för hela lasthanteringsdonet gällande numrering från $i = 1$ till $i = imax$. Se förenklad modell, Figur 13.

Den förenklade modellen av lasthanteringsdonets mekanik 141 kan användas för att beskriva hur positionen för ett antal punkter avsedda att definiera lastskopans 142 läge i rummet kan beräknas som funktion av cylinderutslagen i lyft- och tiltcylindrarna. Till varje element $j \in \{E1, E2, \dots, E4\}$ hör således ett antal punkter som till följd av elemen-

tets rigiditet oberoende av lasthanteringsdonets ställning har konstant avstånd till övriga punkter inom samma element. Lokalt inom mängden av punkter som ingår i det rigida elementet j numreras punkterna $m = 0, 1, 2, \dots, m_{\max}(j)$, där $m = 0$ avser tyngdpunkten och $m_{\max}(j)$ är totala antalet axlar som ingår i det rigida elementet j .

För varje punkt i det fordonsfasta koordinatsystemet betecknas följande koordinater i planet ξ/ζ

$$\left. \begin{array}{l} \xi(j, m, k) = \xi -\text{koordinat gällande tillstånd } k \text{ för} \\ \text{punkt nr } m \text{ inom det rigida elementet nr } j \end{array} \right\} \quad (29a)$$

$$\left. \begin{array}{l} \zeta(j, m, k) = \zeta -\text{koordinat gällande tillstånd } k \text{ för} \\ \text{punkt nr } m \text{ inom det rigida elementet nr } j \end{array} \right\} \quad (29b)$$

Vart och ett av de rigida elementen E_1, E_2, \dots, E_8 måste, för att elementets läge och orientering ska kunna definieras, ha minst en axel och en övrig punkt. För varje element definieras därför en pivotaxel och en indexpunkt med följande ordningsnummer inom elementet:

Pivotaxel, ordningsnummer $m = 1$

Indexpunkt, ordningsnummer $m = 2$

Nedanstående tabell visar ett val av pivotaxel, index- och övriga punkter i den förenklade modellen av lasthanteringsdonets mekanik 141.

Element	Axel							Övrig punkt							Tyngdpunkt $m=0$							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
E0	X	X	X												x							
E1				PIV	IND	$m=3$	$m=4$								x							
E2					PIV		IND	$m=3$							x							
E3									PIV	IND					x							
E4						PIV			IND						x							
E5	PIV									IND						x						
E6				PIV						IND						x						
E7		PIV									IND						x					
E8						PIV					IND							x				

I den tvådimensionella modellen av lasthanteringsdonets mekanik 141 kan pivot- och indexaxlarnas koordinater beräknas med klassiska plangeometriska formler som funktion av lyft och tiltcylindrarnas utslag:

Koordinaterna för de punkter i det rigida elementet E_4 som definierar lastskopan 142 kan bestämmas på samma sätt som övriga axlar i rigida element. Genom att representera lastskopan med punkter på dess insida, så kan dessa punkters koordinater användas för att beräkna hur stor volym lastskopan rymmer i ett visst tillstånd liksom hur stor tyngd lasten kan förväntas ha. Lastskopans punkter numreras inom det rigida elementet E_4 i exemplet som

$$m_s = 1, 2, \dots, m_{s\max} \quad (30)$$

Skoppunkternas koordinater i det fordonsfasta koordinatsystemet 42, tillstånd k , $\xi(4, m_s, k)$ resp $\zeta(4, m_s, k)$ för $m_s = 1, 2, \dots, m_{s\max}$, kan även beräknas med samma typ av metoder. När på detta sätt lastskopans 142 geometri är definierad i fordonsfasta koordinater kan dessa räknas om till koordinater i ett jordfast koordinatsystem 41.

Det förutsätts att uppskattning av positionen i det jordfastas koordinatsystemet 41 för det fordonsfasta koordinatsystemet 42 i koordinater $X = (X, Y, Z)$ samt kurs- (ψ), tipp- (θ) och rollvinkel (ϕ) kan erhållas från fordonets 1 positionsbestämningssystem 7.

På samma sätt som ovan visats i ekv (3) för laserinmätta punkter (ξ, η, ζ) kan även koordinater (ξ, η, ζ) i det fordonsfasta koordinatsystemet 42 för element i lasthanteringsdonets mekanik 141 omvandlas till koordinater $\mathbf{x} = (x, y, z)$ i det jordfasta koordinatsystemet 41 med hjälp av transformationsmatrisen $\mathbf{M}(\Psi, \vartheta, \phi)$, (2), och positionen $\mathbf{X} = (X, Y, Z)$ av det fordonsfasta koordinatsystemet i det jordfasta koordinatsystemet:

$$\mathbf{x} = \mathbf{X} + (\xi, \eta, \zeta) * \mathbf{M}(\Psi, \vartheta, \phi) \quad (31)$$

Specifikt vid planering av dynamisk lastningsbana 1223 och lossningsrörelse 1233 förutsätts att fordonet 1 enligt (23a), (23b) och (25) befinner sig i en omgivning av lastningspunkten 1221 på en plan yta i en position $\mathbf{X}(s) = [(X(s), Y(s), Z(s))]$ där $s=0$ vid lossning och vid lastning på en bana vid körd sträcka s i lastningsbanans riktning ψ_c från lastningspunkten 1221 samt att fordonets kurs-, tipp- och rollvinklar är ψ_c, ϑ_c respektive ϕ_c enligt (26a) och (26b).

Vi har nu således en modell för hur fordonet 1 rör sig och kan sedan kombinera denna modell med koordinaterna i det fordonsfasta koordinatsystemet 42 för de punkter $m_s = 1, 2, \dots, m_{smax}$ i det rigida elementet E4 som representerar lastskopan 142, för att med koordinattransformationen enligt (31) erhålla koordinaterna för sistnämnda punkter i det jordfasta koordinatsystemet 41:

$$\mathbf{X}(4, m_s, k) = \mathbf{X}(s) + [\xi(4, m_s, k), \eta(4, m_s, k), \zeta(4, m_s, k)]^* * \mathbf{M}(\psi_c, \vartheta_c, \phi_c) \quad (32)$$

där $\mathbf{X}(4, m_s, k) = [x(4, m_s, k), y(4, m_s, k), z(4, m_s, k)]$ för $m_s = m_1, m_2, \dots, m_{smax}$ således utgör koordinaterna för lastskopans 142 punkt nr m_s i det jordfasta koordinatsystemet. En förenklande approximation är att lägga alla de punkter som representerar lastskopan i ξ/ζ - planet i det fordonsfasta koordinatsystemet, varvid $\eta(4, m_s, k)$ kan sättas till noll i (32) ovan.

Beräkning av den lastade volym, som en planerad rörelse av fordon 1 och lasthanteringsdon 14 förväntas ge

Beräkningen bygger på en höjdproflatabell 9822 som enligt ovan beräknats utgående från den med den scannande laseravståndsmätaren 81 uppmätta DTM 821 avseende materialvolymens 181 yta samt på en beräkning av den materialmängd som förväntas skäras ut och strömma in i lastskopan 142 vid dess rörelse genom volymen. I ett visst tillstånd k av lastningsrörelsen befinner sig lastskopan 142 på väg igenom materialvolymen. En viss volym av det lastade materialet har då skurits ut av lastskopans framkant och strömmat in i skopan. Den utskurna och inströmmade volymen beror av skopans rörelse och form och av materialvolymens form och egenskaperna hos dess materialinnehåll. Under förutsättning att det lastade materialet är ett nägorlunda lätrinnande fast ämne, såsom sand, grus och tillräckligt sönderdelad sten och andra material kan den utskurna och inströmmade volymen uppskattas med tillräcklig noggrannhet under varje steg av lastningsförloppet för att ligga till grund för en effektiv automatisering av lastningsrörelsen.

Vi betecknar den mellan tillstånd k och $k+1$ utskurna volymen som $\Delta V_s(k+1)$. Under förutsättning att skopan inte skär alltför djupt i materialvolymen 181 kan en i ett lodrätt plan genom den planerade banan för mittpunkten på lastskopans 142 framkant befintlig tvärsnittsyta av denna volym approximeras med en paralleltrapets: "abcd" i figur 15, bildad av lodlinjen genom lastskopans 142 punkt m_g i tillstånd k resp tillstånd $k+1$ uppåt begränsat av höjdprofilen $Z_{lastn}(k) = Z_{lastn}[Sg(k)]$, och nedåt begränsad av en polygonkurva med hörn i skopspetsens position i s - och

z-led [$S_g(k)$, $z(4, m_g, k)$], för varje $k=0,1,2,\dots$. Under exempelvis förutsättningen att lastskopan **142** har samma tvärsnitt över hela sin bredd B gäller följande uttryck för $\Delta V_s(k+1)$:

$$\Delta V_s(k+1) = \frac{1}{2} B h [Z_{lastn}(k) + Z_{lastn}(k+1) - z(4, m_g, k) - z(4, m_g, k+1)] \quad (33)$$

varvid

$$h = S_g(k+1) - S_g(k) \quad (34)$$

$$\text{där } S_g(k) = \sqrt{[x(4, m_g, k) - X_{lastn}]^2 + [y(4, m_g, k) - Y_{lastn}]^2} \quad (35)$$

Totala utskurna volymen $V_s(k)$ tecknas

$$\left\{ \begin{array}{l} r=k \\ V_s(k) = \sum_{r=1}^k \Delta V_s(r), k=1,2,3,\dots \end{array} \right. \quad (36a)$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ V_s(0) = 0 \end{array} \right. \quad (36b)$$

Lastskopan **142** rymmer olika volym i olika lägen, se figur 16. En effektiv lastningsrörelse börjar med att skopans plana nedre skiva i horisontellt läge körs in i materialvolymen *181* på en låg höjd något över marknivå för att undvika friktion mot underlaget. Man måste då tillse att det finns ett tryck i lyftcylindrarna för att balansera egenvikten av lasthanteringsdon med lastskopa. Efterhand som denna inträngning fortsätter fylls skopan med material. Därvid finns risk för att upplagsreaktionen på lastskopan ökar vilket bör undvikas. Genom att mäta trycket i lyftcylindrarnas hydraulmatning och jämföra detta värde med ett planerat värde som är korrigerat för den förväntade tyngden av det lastade materialet i lastskopan kan man styra lastskopans hydraulmatningen till lyftrörelsen så att inträngningen underlättas. Normalt kan på detta sätt inträngningen fortsätta tills den utskurna volymen motsvarar lastskopans rymd, varvid fordonets gång i lastningsbanan *1223* avbryts och lastskopan höjs samtidigt som den tiltas för att åstadkomma maximal rymd. Höjningen fortsätter därefter tills lastskopan är fri från den liggande materialvolymen varefter utkörningen påbörjas i den dynamiska transportbanan *124* ut ur materialvolymen. I vissa fall kan förhållandena vid inträngningen vara sådana att höjningen av lastskopan för att reducera upplagsreaktionen medföra att den lastade volymen blir mindre än avsett. Samma blir resultatet om maskinen trots åtgärden att höja trycket i lyftcylindern börjar slira under inträngningen till följd av att motståndet i materialvolymen mot inträngningen blir för stort varvid inträngningen måste avbrytas innan avsedd volym erhållits. Det är då möjligt att ta hänsyn till detta vid kommande lastningscykler genom att i det första fallet räkna med lägre densitet för materialet och i det andra fallet räkna med att mer energi åstadkommen genom högre varvtal eller hastighet krävs för att tränga in i materialvolymen.

Beräkning av erforderliga lyftkrafter och effektbehov under en lastningsrörelse

Beräkningen bygger på att, i ett jordfast koordinatsystem *41*, tyngd och tyngdpunkt med erforderlig noggrannhet är känd eller kan beräknas för de element och massor som lyfts upp vid lastningsrörelsen, samt att fordonet *1* rör sig med konstant hastighet på en plan men inte nödvändigtvis horisontell yta enligt (22). Lastningsrörelsens dynamiska förlopp medföra därvid under varje tidsintervall ett arbete som är minst lika med summan av det arbete som erfordras för att lyfta upp var och en av dessa massor. Genom att ställa upp ett uttryck för den potentiella

energin för var och en av dessa massor som funktion av tillståndsvariabeln k kan därur erforderliga lyftkrafter och effektbehov under en lastningsrörelse beräknas.

Beräkning av den potentiella energin under en planerad rörelse av fordon 1 och lasthanteringsdon 14.

Till följd av symmetrin kring det fordonsfasta koordinatsystemets ξ - och ζ -rikningar kan, liksom vid beräkningen av mekanikens tillstånd och lastad volym, modellen i två dimensioner av lasthanteringsdon 14 och lastskopa 142 samt konceptet för beräkning av volymer användas. Effektberäkningen bygger på analys av den potentiella energin i de massor som sätts i rörelse vid lastningen. Den potentiella energin i tillstånd k för de mekaniska elementen i lasthanteringsdon 14 med lastskopa 142 betecknas $U_{mek}(k)$ och för den lastade volymen används beteckningen $U_s(k)$. Den totala potentiella energin i tillstånd k betecknas $U(k)$:

$$U(k) = U_{mek}(k) + U_s(k) \quad (37)$$

Eftersom lasthanteringsdonet 14 under lastningen styrs av ett programmerat tidsförlopp, styrs mekanismen så att tillstånd k ska uppnås vid ett visst tidsögonblick, varför tillstånd k kan skrivas $k(t_k)$, $k = 0, 1, 2, 3, \dots$. Tiden mellan två på varandra följande tillstånd k och $k+1$ betecknas TSAMP och förutsätts vara konstant dvs $t_{k+1} - t_k = \text{TSAMP}$ oberoende av k . Energibehovet för att bringa systemet från tillstånd k till tillstånd $k+1$ betecknas $\Delta U(k)$ och är således

$$\Delta U(k) = U(k+1) - U(k) \quad (38)$$

En lastningsrörelse erfordrar normalt något tiotal sekunder medan TSAMP bör vara av storleksordningen 0.1 s eller kortare för att inte medföra onödiga fördöjningar i styrningen av lasthanteringsdonet 14. Med hänsyn till de övriga fel som medförs av ofrånkomliga approximer till exempel i modelleringen av materialvolymen kan effektbehovet antas vara konstant under det således i förhållande till förloppets dynamik korta tidsintervallet (t_k, t_{k+1}) . En uppskattning $P(k)$ av medeleffekten under detta tidsintervallet kan därför tecknas:

$$P(k) = \Delta U(k) / \text{TSAMP} \quad (39)$$

(39) kan användas för att vid val av lyft- och tilthastighet minimera tiden för lastningsrörelsen och därvid kunna tillse att maximalt tillgänglig effekt för manövrering av lasthanteringsdonet ej överskrids.

Beräkning av $U_{mek}(k)$

Vi använder beteckningen $M(j)$ för massan av det rigida elementet Ej. Med tidigare använda beteckningar kan vi då teckna den potentiella energin $U_{mek}(k)$ i ett jordfast koordinatsystem 41 för lasthanteringsdonets 14 mekanik 141 och lastskopa 142:

$$U_{mek}(k) = \sum_{j=1}^{j_{\max}} g M(j) [z(j, 0, k) - z(j, 0, 0)] \quad (40)$$

där g är den vertikala tyngdaccelerationen

Beräkning av $U_s(k)$

En med hänsyn till övriga osäkerheter rimlig ansats vad gäller tyngdpunkten för den lastade volymen är att sätta den till samma som lastkopans tyngdpunkt. För lastens potentiella energi i ett jordfast koordinatsystem 41 blir då uttrycket:

$$U_s(k) = \rho \cdot g [z(4, 0, k) - z(4, 0, 0)] V_s(k) \quad (41)$$

Där ρ är ett mått på det lastade materialets densitet, i kg/m³

Beräkning av lastkopans upplagsreaktion

När lastkopan 142 belastar underlaget och samtidigt skall föras framåt i en lastningsrörelse uppstår en mot denna rörelse riktad rörelsehindrande friktionskraft som beror på den reaktionskraft eller upplagsreaktion, som från underlaget verkar på lastkopan. Genom att beräkna upplagsreaktionens styrka $F(k)$ som funktion av fordonets 1 och lasthanteringsdonets 14 rörelsetillstånd k och att därvid även beakta inverkan av tyngden av lastad volym M_s är det möjligt att styra trycket i lasthanteringsdonets lyftcylinder så att upplagsreaktionen och därmed den rörelsehindrande friktionskraften minimeras för att därvid underlätta lastningsrörelsen.

Beräkningen bygger på att i en ekvation på två sätt teckna det arbete, som erfordras för att i ett jordfast koordinatsystem 41 utföra en infinitesimal höjning h av lastkopan 142. Denna rörelse kan ses som resultatet av den infinitesimala längdökning av lyftcylindern som erfordras för att lyfta lastkopan höjden h och som i det jordfasta koordinatsystemet medför förändringen $\Delta z(j, 0, k) + o_j(h)$ i z-koordinaten för tyngdpunkten för ett enskilt element j i lasthanteringsdonet 14.

Upplagsreaktionen i ett tillstånd k_0 då lyftcylindern ej är trycksatt och skopans 142 last $M_s(k_0) = 0$ antas vara $F(k_0)$. Ett sätt att teckna arbetet blir då $F(k_0) \cdot h$. Samma arbete utgörs också av förändringen vid denna rörelse av den potentiella energin i ett jordfast koordinatsystem 41 av lasthanteringsdonet 14 alla delar enligt ekvation (40). Då gäller med användning av ekvation (40) för en infinitesimal höjning h av skopan från z-koordinat $z(4, 0, k_0)$ i tillstånd k_0 till värdet $z(4, 0, k_0) + h$.

$$F(k_0) \cdot h = \sum_{j=1}^{j_{\max}} [g M(j) \Delta z(j, 0, k_0) + o_j(h)] \quad (42)$$

och således kan man beräkna $F(k_0)$ ur geometrins derivator med avseende på lastkopans 142 z-koordinat $[dz(j, 0, k_0)/dz(4, 0, k_0)]; j = 1, \dots, j_{\max}$:

$$F(k_0) = \sum_{j=1}^{j_{\max}} g M(j) [dz(j, 0, k_0)/dz(4, 0, k_0)] \quad (43)$$

Upplagsreaktionen i ett tillstånd k där lastkopan tagit lasten $M_s(k)$ blir under samma förutsättningar enkelt:

$$F(k) = F(k_0) + M_s(k) \cdot g \quad (44)$$

Beräkning av erforderlig kraft i lyftcylindern för att balansera lasthanteringsdonet 14

För att i tillstånd k enligt ovan balansera lasthanteringsdonet med lasten $M_s(k)$ så att upplagsreaktionen blir noll antas kräva kraften $F_1(k)$ i lyftcylindern. Då gäller för en infinitesimal längdökning Δl av lyftcylindern och en infinitesimal motsvarande höjning h av lastskopan 142

$$F_1(k) \cdot \Delta l = F(k) \cdot h \quad (45)$$

och således kan man beräkna $F_1(k)$ med hjälp av en geometriderivata:

$$F_1(k) = F(k) [dz(4, 0, k)/dl] \quad (46)$$

Under ett lastningsförflopp har visats en metod för att ur den höjdprofiltrabell 9822 som erhållits ur DTM 821 uppskatta volymen $V_s(k)$ av det material som i tillstånd k lagrats i lastskopan 142. Om vi som tidigare antar att densiteten för materialet är ρ så kan den lastade massan med användning av (36) tecknas som en funktion $M_s(k)$ av tillstånd k:

$$M_s(k) = \rho V_s(k) \quad (47)$$

varefter ett uttryck på ett lämpligt maxvärde för den kraft som ska ansättas i lyftcylindern vid tillstånd k för att balansera lasthanteringsdonet 14 med förväntad last enligt (47) är

$$[F_1(k)]_{\max} = [F(k_0) + \rho g V_s(k)] \{dz[4, 0, k]/dl\} \quad (48)$$

eller med $0 < \beta < 1$ där värdet på β väljs genom praktiska försök

$$F_1(k) = \beta [F_1(k)]_{\max} \quad (49)$$

Genom att i styrtabellen 971 föra in lyftcylinderkraften enligt (49) möjliggör man att maximal framdrivningskraft kan erhållas av fordonets 1 drivhjul under den viktiga del av lastningsmomentet då lastskopan 142 förs in till sitt maximala djup i materialvolymen 181.

Hinderdetektering

Ett system för hinderdetektering bör innehålla dels sensorer som mäter in och lagrar information avseende förekommande hinder, dels beslutsriterier baserade på denna information samt kännedom om fordonets 1 såväl befintliga position som dess planerade bana för att fastställa om banan kan anses fri från hinder eller ej.

Hinderdetektering avser att upptäcka och i tid larma för såväl stillastående som rörliga hinder 182 som kan komma i fysisk kontakt med fordonet 1 vid dess planerade eller fortsatta rörelse. Med hinder avses främst föremål av en viss minsta storlek inom hinderfri zon 191 enligt DTM 821, men även objekt utanför hinderfri zon kan utgöra hinder och det ingår i hinderdetekterings uppgift att även upptäcka och i tid larma för sådana objekt i fordonets väg. Det är också hinderdetekteringens uppgift att kontrollera så att fordonet inte kommer utanför hinderfria zoner eller lastnings- och lossningszoner.

Fordonet 1 kan ur hinderrskyddssympunkt tillordnas olika hinderrskyddszonar med för minskande avstånd till fordonet ökande grad av beaktande av förekomst av eventuellt hinder, såsom åtgärder på en skala från varningssignal, därefter sänkt hastighet till nödstopp i inre zon eller zoner. Varje sådan hinderrskyddsgeometri 195 kan läggas in som en tabell i DTM-datorn 82 och användas tillsammans med från uppdragssdatorn 6 erhållen styrtabell 971 för att utvärdera kriterier

baserade på data i DTM 821 för åtgärd vid förekommande hinder inom hinderskyddszon vid såväl fordonets befintliga position som dess planerade bana enligt styrtabellen.

Vid autonom navigering mottar både fordonsstyrdatorn 211 och DTM-datorn 82 vid starten av varje bansegment en styrtabell 971 avseende statiskt 11 eller dynamiskt 12 bansegment. DTM-datorn kan utgående från denna tabell fastställa vilka element av den dynamiska terrängmodellen som kommer att sammanfalla med fordonets 1 hindreskyddsgeometri 195 under detta bansegment. Se figur 18. Om ett hinder då upptäcks inom ett sådant element kan ett larm utlösas, se kriterium för hinderdetektering, sid 13. Genom att i hindreskyddsgeometrin använda flera olika stora skyddszoner kring fordonet är det möjligt att varna för ett hinder i yttre men utanför inre zoner och signalera nödstopp vid hinder inne i inre zoner.

Låt $P(K, L)$ vara punkter och $\mathcal{X}(K, L) = [\xi(K, L), \eta(K, L), \zeta(K, L)]$ vara motsvarande ortsvektorer i en koordinattabell i tre dimensioner av det fordonsfasta koordinatsystemet 42 varvid punkterna $P(K, L)$ avser fordonets hindreskyddsgeometri 195 och som för var och en av nivåerna $L = 1, 2, \dots, L_{MAX}$ består av en fordonsfast hindreskyddszon $\mathcal{A}(L)$, 1951, begränsad av en sluten gränspunktpolygon $\omega(L)$ 1952 som utgörs av en följd av räta linjer från $P(K, L)$ till $P(K+1, L)$ för $K = 1, \dots, K_{MAX}-1$ samt den räta linjen från $p(K_{MAX}, L)$ till $p(1, L)$.

Låt $\mathbf{X}(s) = [X(s), Y(s), Z(s)]$ vara koordinater och $\psi(s), \vartheta(s), \phi(s)$ vara kurs-, tipp- och rollvinklar i det jordfast koordinatsystemet 41 för det fordonsfasta koordinatsystemet 42 i en punkt $P(s)$ belägen en sträcka $s - s_0$ utmed fordonsbanan från fordonets 1 aktuella position med motsvarande koordinater $\mathbf{X}(s_0)$, där fordonsbanan är definierad av en styrtabell 971 från uppdragsdatorn 6. En hindreskyddsavbildning 1954 på hindreskyddsnivå L av den fordonsfasta hindreskyddszonen $\mathcal{A}(L)$ på referensytan 17 i det jordfast koordinatsystemet utgörs då av den zon $\mathbf{A}(L, s)$ som ligger inom en sluten gränspunktpolygon $\Omega(L, s)$, 1953, som bildas av de punkter $P(K, L, s)$, vardera med ortsvektorn $\mathbf{X}(K, L, s) = [X(K, L, s), Y(K, L, s), Z(K, L, s)]$, $K=1, 2, \dots, K_{MAX}$ och där varje sådan punkt $P(K, L, s)$ är en avbildning på referensytan i det jordfast koordinatsystemet 41 av punkten $p(K, L)$ med ortsvektorn $\mathcal{X}(K, L) = [\xi(K, L), \eta(K, L), \zeta(K, L)]$ tillhörig gränspunktpolygonen $\omega(L)$ i det fordonsfasta koordinatsystemet 42. Slutligen bildas en jordfast hindreskyddszon 1955 som föreningsmängden $\Theta(L, s)$ av samtliga zoner $\mathbf{A}(L, u)$, $s_0 \leq u \leq s$.

Följande samband gäller därvid:

- 1° kurvan $\Omega(L, s)$ utgörs av en följd av räta linjer från $P(K, L, s)$ till $P(K+1, L, s)$ för $K = 1, \dots, K_{MAX}-1$ samt den räta linjen från $P(K_{MAX}, L, s)$ till $P(1, L, s)$ och
- 2° Avbildningen $P(K, L, s)$ av punkten $P(K, L)$ i det fordonsfasta koordinatsystemet 42 på referensytan 17 har X- och Y-koordinaterna $X(s)$ och $Y(s)$, där $X(s)$, $Y(s)$ och $\psi(s)$ är, i jordfast koordinatsystemets 41 koordinater, position i horisontalplanet respektive kursvinkel för det fordonsfasta koordinatsystemet 42 enligt styrtabell 971, varvid gäller:

$$\mathbf{X}(K, L, s) = \mathbf{X}(s) + \mathcal{X}(K, L) * \mathbf{M}[\psi(s), \vartheta(s), \phi(s)] \quad (50)$$

$$\text{där } \tan[\vartheta(s)] = -X_N(s) \cos[\psi(s)] - Y_N(s) \sin[\psi(s)] \quad (51a)$$

$$\text{och } \tan[\phi(s)] = X_N(s) \sin[\psi(s)] + Y_N(s) \cos[\psi(s)] \quad (51b)$$

3° Avbildningen $P(K, L, s)$ av punkten $P(K, L)$ i det fordonsfasta koordinatsystemet 42 på referensytan 17 har Z-koordinaten $Z(s) = [C(s) - X(s) X_N(s) - Y(s) Y_N(s)]/Z_N(s)$, där koefficienterna $X_N(s)$, $Y_N(s)$ och $Z_N(s)$ samt konstanten $C(s)$ för en till DTM 821 i punkten $X(s)$ med minsta kvadratmetoden anpassad plan tangentyta med ekvationen $XX_N(s) + YY_N(s) + ZZ_N(s) = C(s)$ kan beräknas med hjälp av DTM 821 för en mängd punkter på referensytan i en omgivning av punkten med koordinaterna $[X(s), Y(s)]$ i horisontalplanet.

4° $A(L,s)$, hindernskyddsavbildningen 1953 på referensytan 17 av $\mathcal{A}(L)$, den fordonsfasta hindernskyddszonen 1952 på nivå L , utgörs av ytan inom kurvan $\Omega(L,s)$.

5° En jordfast hindernskyddszon 1955 utgörs av föreningsmängden $\Theta(L,s)$:

$$\begin{aligned} u &= s \\ \Theta(L,s) &= \bigcup_{\substack{u=s_0}} A(L,u) \end{aligned} \tag{52}$$

DTM-datorns 82 uppgift är att för varje ny positionsuppgift från positionsbestämningssystemet samt vid mottagen ny styrtabell 971 granska denna genom att undersöka DTM 821 inom områden $\Theta(L,s)$, $L=1,\dots,L_{MAX}$, och vidtaga de åtgärder som utvärderingen av nedanstående kriterier implicerar:

- 1° Om $Z(4, n) = 1$ och givet tröskelvärde $H \leq Z(1, n) - Z(2, n)$ för något element n inom $\Theta(L,s_0)$, $n = 1,2,\dots,n_{MAX}$, så finns i minst en punkt av den jordfastas hindernskyddszonen 1955 nummer L ett hinder som föranleder hindernskyddsåtgärd med meddelandenummer $H(0, L)$.
- 2° Om $Z(4, n) = 0$ för något element n inom $\Theta(L,s_0)$, $n = 1,2,\dots,n_{MAX}$, så ligger minst en punkt av den jordfastas hindernskyddszonen 1955 nummer L redan utanför hinderfritt område och föranleder hindernskyddsåtgärd med meddelandenummer $H(0, L)$.
- 3° Om $Z(4, n) = 1$ och givet tröskelvärde $H \leq Z(1, n) - Z(2, n)$ för något element n inom $\Theta(L,s)$, $n = 1,2,\dots,n_{MAX}$, så finns i minst en punkt av fordonets hindernskyddsgeometri 195 nummer L enligt den planerade banan ett hinder som föranleder hindernskyddsåtgärd nummer $H(1, L)$
- 4° Om $Z(4, n) = 0$ för något element n inom $\Theta(L,s)$, $n = 1,2,\dots,n_{MAX}$, så ligger minst en punkt av den jordfastas hindernskyddszonen 1955 nummer L enligt den planerade banan utanför hinderfritt område och föranleder hindernskyddsåtgärd nummer $H(1, L)$

Hinderskyddsmeddelanden från DTM-datorn vid en inre hindernskyddsgeometri $J=1$ och en yttre hindernskyddsgeometri $J=2$:

$H(0, 1)$: Nödstoppsmeddelande 9841 direkt till fordonsstyrdatorn 211

$H(0, 2)$: Varningsmeddelande 9842 till fordonsstyrdatorn 211 med möjlighet att sänka hastigheten.

$H(1, 1)$: Förflyttning av planerad bana i granskningsmeddelande 980 till uppdragsdatorn 6

$H(1, 2)$: Varningsmeddelande 9842 till fordonsstyrdatorn 211 med möjlighet att sänka hastigheten

5. Patentkrav

- 1) Ett förfarande för att utgående från mätningar med fordonsburna sensorer ombord på ett rörligt fordon bygga upp och underhålla en dynamisk terrängmodell inom ett avgränsat arbetsområde och i ett jordfast koordinatsystem och där detta förfarande är kännetecknadt av att denna dynamiska terrängmodell utgörs av i ett rutnät eller på annat sätt entydigt ordnade element $n = 1, 2, 3, \dots$ som representeras av koordinatpunkter $[X(n), Y(n)]$ i horisontalplanet, med för varje sådant element n i modellen tillhörande värden $Z(n)$ och där $X(n)$, $Y(n)$ och $Z(n)$ utgör koordinater i ett jordfast koordinatsystem och där $Z(n)$ utgör ett medelvärde eller på annat sätt uppmätt eller beräknat representativt värde av Z -koordinaten för punkter inom ett begränsat avstånd i horisontalled från koordinatpunkt $[X(n), Y(n)]$ på ytan av till exempel mark, materialvolymer och andra hanteringsobjekt samt på förekommande hinder, att en fordonsburen scannande sensor mäter avstånd i olika riktningar i ett fordonsfast koordinatsystem till sådana punkter och att, baserat på givna noggrannhetskrav, ett godtagbart antal sådana mätningar förutsätts ligga till grund för den uppskattning $Z(n)$ som läggs in i modellen, att det fordonsfasta koordinatssystemets läge och orientering i ett jordfast koordinatsystem mäts in med ett positionsbestämningssystem enligt svenskt patent nr 464 837 för bestämning, i ett jordfast koordinatsystem, av ett fordonsfast koordinatsystems position i tre dimensioner samt dess kurs-, tipp- och rollvinkelar utgående från vinkelmätningar i ett fordonsfast koordinatsystem mot ett antal markfasta reflektorer inom ett avgränsat arbetsområde och att den dynamiska terrängmodellens koordinater i det jordfasta koordinatsystemet för punkter på ytan av olika objekt inom arbetsområdet beräknas med en koordinattransformation av den fordonsburna scannande sensorns avstånds- och vinkelbestämningar i det fordonsfasta koordinatsystemet.
- 2) Ett förfarande enligt patentkrav 1) ovan kännetecknat av att för varje element n i modellen kan finnas flera värden på höjdangivelsen Z , där ett sådant värde $Z(1,n)$ är baserat på enbart fordonets aktuella mätningar av en given maximal ålder, ett annat värde $Z(2,n)$ representerar en referensyta utan hanteringsobjekt, materialvolymer, kända och okända hinder, där ett tredje värde $Z(3,n)$ avser referensyta, hanteringsobjekt, materialvolymer och kända hinder för vilka ingående Z -värden för elementen i modellen avser mätningar från tidigare körningar inom arbetsområdet eller på annat sätt inmatade grunduppgifter och att därvid värden från eventuella mätningar mot tidigare icke kända men efter upptäckten borttagna hinder harrensats bort och ersatts med värden som avser samma element utan hinder.
- 3) Ett förfarande enligt patentkrav 1) för att med ett rörligt fordon finna en punkt (X_{lastn}, Y_{lastn}) eller (X_{lossn}, Y_{lossn}) för angivelse av begynnelseposition för dess lasthanteringsdon i en tänkt lastnings- respektive lossningsrörelse med ett hanteringsobjekt eller i en materialvolym och där detta förfarande är kännetecknat av att fordonet framförs på en i förväg planerad spaningsbana mot en inom en polygonkurva i ett jordfast koordinatsystem avgränsad lastnings- eller lossningszon, att från en punkt eller linje räknat vid lastning den närmaste eller på annat sätt mest lämpliga punkten, med koordinaterna (X_{lastn}, Y_{lastn}) i det jordfasta koordinatsystemet, söks bland de element av den dynamiska terrängmodellen som blivit inmätta med ett godtagbart antal mätningar under fordonets bana från den punkt när värdet $Z(n)$ för ett första element n i den dynamiska terrängmodellen inom avsedd lastningszon blivit bestämt med ett godtagbart antal mätningar och vid villkor $A \leq Z(n)$ där A är en given minsta höjdsvå tills fordonet därefter hunnit förflytta sig en given sträcka längs spaningsbanan, att denna sökning för närmaste angreppspunkt för fordonets lastskopa eller annat motsvarande redskap för lastning med koordinaterna (X_{lastn}, Y_{lastn}) i det jordfasta koordinatsystemet baseras på sådana element n i den dynamiska terrängmodellen för vilka gäller $B \leq Z(n)$, där B är en given minsta lastningsvärd höjdsvå per element och att denna sökning inom avsedd lossningszon för mest avlägsna eller

på annat sätt mest lämpliga tömningspunkt för fordonets lastskopa eller annat motsvarande redskap vid lossning med koordinaterna (X_{lossn} , Y_{lossn}) i det jordfasta koordinatsystemet baseras på sådana element n i den dynamiska terrängmodellen för vilka gäller $Z(n) \leq C$, där C är en given maximal höjd i ett element för att medge lossning i detta element.

- 4) Ett förfarande enligt patentkrav 3) kännetecknat därav att i stället för $Z(n)$ ur den dynamiska terrängmodellen enligt patentkrav 1) används ur den dynamiska terrängmodellen enligt patentkrav 2) koordinaten $Z(1, n)$ som mått på höjdnivå i ett element av den dynamiska terrängmodellen för beräkning av närmaste eller på annat sätt mest lämpliga angreppspunkt för lastskopans ingång i en materialvolym vid lastning eller mest avlägsna eller på annat sätt mest lämpliga tömningspunkt för lastskopan vid lossning.
- 5) Ett förfarande enligt patentkrav 3) kännetecknat därav att i stället för $Z(n)$ ur den dynamiska terrängmodellen enligt patentkrav 1) används ur den dynamiska terrängmodellen enligt patentkrav 2) måttet $Z(1, n) - Z(2, n)$ som mått på höjdnivå i ett element av den dynamiska terrängmodellen för beräkning av närmaste eller på annat sätt mest lämpliga angreppspunkt för lastskopans ingång i en materialvolym vid lastning eller mest avlägsna eller på annat sätt mest lämpliga tömningspunkt för lastskopan vid lossning.
- 6) Ett förfarande för att med hjälp av en dynamisk terrängmodell som byggs upp och underhålls med förfarande enligt patentkrav 2) med ett rörligt fordon upptäcka tidigare icke kända hinder inom hinderfria zoner av det avgränsade arbetsområdet kännetecknat därav, att detta fordon styrs utefter en känd bana, att till ett fordon hör en eller flera fordonsfasta hinderydds-zoner, var och en i form av ett inom en polygonkurva i ett fordonsfast koordinatsystem begänsat område med till varje område hörande hinderyddsåtgärd i form av varningssignal, sänkt hastighet, nödstopp eller annan avbrottsåtgärd, att hinderyddsavbildning är ett inom en polygonkurva i ett jordfast koordinatsystem avgränsat område som utgör projektionen i horisontalplanet av en fordonsfast hinderyddszon i ett läge av fordonet i sin bana, att jordfast hinderyddszon är ett inom en polygonkurva i ett jordfast koordinatsystem begränsat område som utgör föreningsmängden av de hinderyddsavbildningar från fordonets positioner i banan som härrör från någon av fordonets hinderyddszoner, att hinderfri zon är en inom en polygonkurva i ett jordfast koordinatsystem avgränsad zon utanför eventuella lastnings- och lossningszoner, att frågan om hinderförekomst ständigt utvärderas i sådana element n av den dynamiska terrängmodellen vars koordinatpunkter $[X(n), Y(n)]$ ligger inom hinderfri zon samt inom till varje fordonsfast hinderyddszon hörande jordfasta hinderyddszon, att en del av prövningen består i att för sådana element n skillnaden $Z(1, n) - Z(2, n)$ jämförs med ett givet tröskelvärde H och om skillnaden överskrider detta tröskelvärde så larmas för hinder enligt den åtgärd som är avsedd för den av fordonets hinderyddszoner som används för prövningen, att en annan del av prövningen består i att utvärdera fordonets planerade bana med hjälp av de jordfastas hinderyddszonerna och därvid undersöka om för något element n i någon jordfast hinderyddszon dess koordinatpunkt $[X(n), Y(n)]$ ej ligger i någon hinderfri zon varefter larm utlöses för hinder enligt den åtgärd som är avsedd för den av fordonets hinderyddszoner som används för prövningen
- 7) Ett förfarande för att med hjälp av den dynamiska terrängmodellen enligt patentkrav 1) och utgående från en genom förfarande enligt patentkrav 3), 4) eller 5) beräknad angreppspunkt (X_{lastn}, Y_{lastn}) beräkna en höjdprofil, kännetecknat därav, att höjdprofilen kan skrivas som en tabell med samhöriga värden $[s(i), x(i), y(i), Z_{lastn}(i)]$ för $i=1, 2, 3, \dots$ längs en given bana för fordonets lastskopa eller redskap där varje sådant i-värde avser ett från ovannämnda angreppspunkträknat inträngningsdjup $s(i)$ längs banan samt koordinater $x(i), y(i)$ i det jordfastas

koordinatsystemet till en punkt på banan för detta inträngningsdjup, att till varje sådant i-värde hör ett mått $Z_{lastn}(i)$ som avser en yta med given och konstant bredd tvärs den angivna banans riktning, att detta $Z_{lastn}(i)$ i höjdprofilen avser de element n av den dynamiska terrängmodellen som omger, i någon punkt sammanfaller med eller ligger i en begränsad omgivning av en linje tvärs med och centrerad över banan och att från varje sådant element n används värdet $Z(n)$ för att bilda ett aritmetiskt medelvärde, att detta medelvärde utgör värdet $Z_{lastn}(i)$ avseende grupp i av samhöriga värden i höjdprofilen.

- 8) Ett förfarande för att med hjälp av den dynamiska terrängmodellen enligt patentkrav 2) och utgående från en enligt patentkrav 3), 4) eller 5) beräknad angreppspunkt (X_{lastn} , Y_{lastn}) beräkna en höjdprofil, kännetecknadt därav, att höjdprofilen kan skrivas som en tabell med samhöriga värden $[s(i), x(i), y(i), Z_{lastn}(i)]$ för $i=1, 2, 3, \dots$ längs en given given bana för fordonets lastskopa eller redskap där varje sådant i-värde avser ett från ovannämnda angreppspunkt räknat inträngningsdjup $s(i)$ längs banan samt koordinater $x(i)$, $y(i)$ i det jordfastas koordinatsystemet till en punkt på banan för detta inträngningsdjup, att till varje sådant i-värde hör ett mått $Z_{lastn}(i)$ som avser en yta med given och konstant bredd tvärs den angivna banans riktning, att detta mått $Z_{lastn}(i)$ i höjdprofilen avser de element n av den dynamiska terrängmodellen som omger, i någon punkt sammanfaller med eller som ligger i en begränsad omgivning av en linje tvärs med och centrerad över banan, att från varje sådant element n används värdet $Z(1,n) - Z(2,n)$ för att bilda ett aritmetiskt medelvärde, att detta medelvärde utgör värdet $Z_{lastn}(i)$ avseende grupp i av samhöriga värden i höjdprofilen.
- 9) Ett förfarande för att med hjälp av den dynamiska terrängmodellen enligt patentkrav 2) och utgående från en enligt patentkrav 3), 4) eller 5) beräknad angreppspunkt (X_{lastn} , Y_{lastn}) beräkna en höjdprofil, kännetecknadt därav, att höjdprofilen kan skrivas som en tabell med samhöriga värden $[s(i), x(i), y(i), Z_{lastn}(1,i), Z_{lastn}(2,i)]$ för $i=1, 2, 3, \dots$ längs en given bana för fordonets lastskopa eller redskap där varje sådant i-värde avser ett från ovannämnda angreppspunkt räknat inträngningsdjup $s(i)$ längs banan samt koordinater $x(i)$, $y(i)$ i det jordfastas koordinatsystemet till en punkt på banan för detta inträngningsdjup, att till varje sådant i-värde hör ett par mått $Z_{lastn}(1,i)$ och $Z_{lastn}(2,i)$ som avser ytor med given och konstant bredd tvärs den angivna banans riktning, att dessa samhöriga värden avseende index i i höjdprofilen avser de element n av den dynamiska terrängmodellen som ligger i en begränsad omgivning av en linje tvärs med och centrerad över banan, att från varje sådant element så används värdena $Z(1,n)$ och $Z(2,n)$ för att bilda aritmetiska medelvärden $Z_{lastn}(1,i)$ och $Z_{lastn}(2,i)$ avseende grupp i av samhöriga värden i höjdprofilen.
- 10) Ett förfarande för att planera och styra en lastmaskin i en lastningsbana samt maskinen och dess redskaps rörelse under en lastningsoperation, kännetecknadt därav, att den beräknade höjdprofilen enligt patentkrav 7) eller 8) används för att med numerisk integration av en funktion $Z = f(s)$ där s är inträngningsdjupet och $f(s)$ är en kurva som anpassats till punkterna $[s(i), Z_{lastn}(i)]$, $i = 1, 2, 3, \dots$ beräkna en uppskattning av lastad volym som funktion av inträngningsdjupet för att därmed avgöra hur långt in i materialvolymen som lastskopan ska föras för att fyllas under lastningsrörelsen.
- 11) Ett förfarande för att planera och styra en lastmaskin i en lastningsbana samt maskinen och dess redskaps rörelse under en lastningsoperation, kännetecknadt därav, att den beräknade höjdprofilen enligt patentkrav 9) används för att med numerisk integration av en funktion $Z = f(s)$ där s är inträngningsdjupet och $f(s)$ är en kurva som anpassats till punkterna $[s(i), f(i)]$; $f(i) = Z_{lastn}(1, i) - Z_{lastn}(2, i)$; $i = 1, 2, 3, \dots$ beräkna en uppskattning av lastad volym som funktion

av inträngningsdjupet för att därmed avgöra hur långt in i materialvolymen som lastskopan ska föras för att fyllas under lastningsrörelsen.

- 12) Ett förfarande för att planera och styra en lastmaskin i en lastningsbana samt maskinen och dess redskaps rörelse under en lastningsoperation, kännetecknadt därav, att den beräknade höjdprofilen enligt patentkrav 7), 8) eller 9) används för att med numerisk integration av en funktion $Z = f(s)$ där s är inträngningsdjupet och $f(s)$ är en kurva som anpassats till punkterna $[s(i), Z_{lastn}(i)]$ respektive $[s(i), Z_{lastn}(1, i)]$; $i = 1, 2, 3, \dots$ beräkna en uppskattning av lastad volym som funktion av inträngningsdjupet för att därmed avgöra hur långt in i materialvolymen som lastskopan ska föras för att fyllas under lastningsrörelsen, att denna numeriska integral också används för att beräkna förväntad tyngd av det utskurna materialet i lastskopan för att vid olika inträngningsdjup under operationen kunna skapa en mot tyngden av lastskopan och lastad volym balanserande kraft på lastskopan från lasthanteringsdonets ställdon och genom att därigenom reducera upplagsreaktionen på lastskopan från underlaget underlätta inträngningen i materialvolymen vid lastning
- 13) Ett förfarande för att planera och styra en lastmaskin i en lastningsbana samt maskinen och dess redskaps rörelse under en lastningsoperation, kännetecknadt därav, att den beräknade höjdprofilen enligt patentkrav 9) används för att med numerisk integration av en funktion $Z = f(s)$ där s är inträngningsdjupet och $f(s)$ är en kurva som anpassats till punkterna $[s(i), f(i)]$; $f(i) = Z_{lastn}(1, i) - Z_{lastn}(2, i)$; $i = 1, 2, 3, \dots$ beräkna en uppskattning av lastad volym som funktion av inträngningsdjupet för att därmed avgöra hur långt in i materialvolymen som lastskopan ska föras för att fyllas under lastningsrörelsen, att denna numeriska integral också används för att beräkna förväntad tyngd av det utskurna materialet i lastskopan för att vid olika inträngningsdjup under operationen kunna skapa en mot tyngden av lasthanteringsdonetts innehållande lastskopa och lastad volym balanserande kraft från lasthanteringsdonets ställdon och genom att därmed reducera upplagsreaktionen på lastskopan från underlaget underlätta inträngningen i materialvolymen vid lastning.
- 14) Ett förfarande för att planera hur utslaget av ställdonen i ett lasthanteringsdons lyftande rörelse ska avbrytas vid lastning ur en materialvolym kännetecknadt därav, att lastskopans position, definierad av ett antal i lastskopans kropp befintliga punkter $[\xi(j), \eta(j), \zeta(j)]$, $j = 1, 2, 3, \dots$ i ett fordonsfast koordinatsystem beräknas som funktion av ställdonens utslag, att lastskopans position $[x(j), y(j), z(j)]$, $j = 1, 2, 3, \dots$ i ett jordfast koordinatsystem beräknas genom koordinattransformation av punkterna $[\xi(j), \eta(j), \zeta(j)]$, $j = 1, 2, 3, \dots$ varvid transformationen baseras på positionsbestämning ur förfarande enligt svenska patent nr 464 837 av det fordonsfasta koordinatssystemet i ett jordfast koordinatsystem, att ytan av den materialvolym som lastningen avser är avbildad med en dynamisk terrängmodell enligt patentkrav 1) eller 2) på formen $[s(i), Z_{lastn}(i)]$ respektive $[s(i), Z_{lastn}(1, i)]$; $i = 1, 2, 3, \dots$, att lyftrörelsen avbryts när för samtliga de punkter som definierar lastskopans form gäller $Z[x(j), y(j)] < z(j)$, $j = 1, 2, 3, \dots$ där $Z(x, y)$ är en yta i det jordfasta koordinatsystemet som anpassats till terrängmodellen i punkterna $n = 1, 2, 3, \dots [X(n), Y(n), Z(n)]$ respektive $[X(n), Y(n), Z(1, n)]$, $n = 1, 2, 3, \dots$.

Sammanfattning

Patentansökan avser förfaranden för att utöka förarlösa fordons och automatiska lastmaskiners autonoma förmåga, dels vad gäller lastnings- och lossningsmomenten, dels vad gäller förmågan att vid autonom drift med hög säkerhet upptäcka hinder i körbanan. Uppfinningen löser detta problem genom att bygga upp och underhålla en dynamisk terrängmodell, DTM, inom ett begränsat arbetsområde, utgående från mätningar med en kombination av en scannande laseravståndsmätare och ett fordonsburet positionsbestämningssystem, vilket i i sex frihetsgrader bestämmer fordonets och den scannande laseravståndsmätarens läge i ett jordfast koordinatsystem. En särskild DTM-dator används för att registrera och analysera ytan av terräng, materialvolymer och hinder framför fordonet och där positionsbestämningssystemet förutom att ge positionsuppgifter för fordonets banstyrning även möjliggör att uppdatering av ovannämnda terrängmodell och jämförelser mot tillkommande mätningar sker i ett jordfast koordinatsystem och vartill data från DTM används för att planera fordonets bana, lasthanteringsdonets rörelse och för att utvärdera kriterier för hinderförekomst.

69
3
2
0
8
0

5. Figurer

Fig 1:

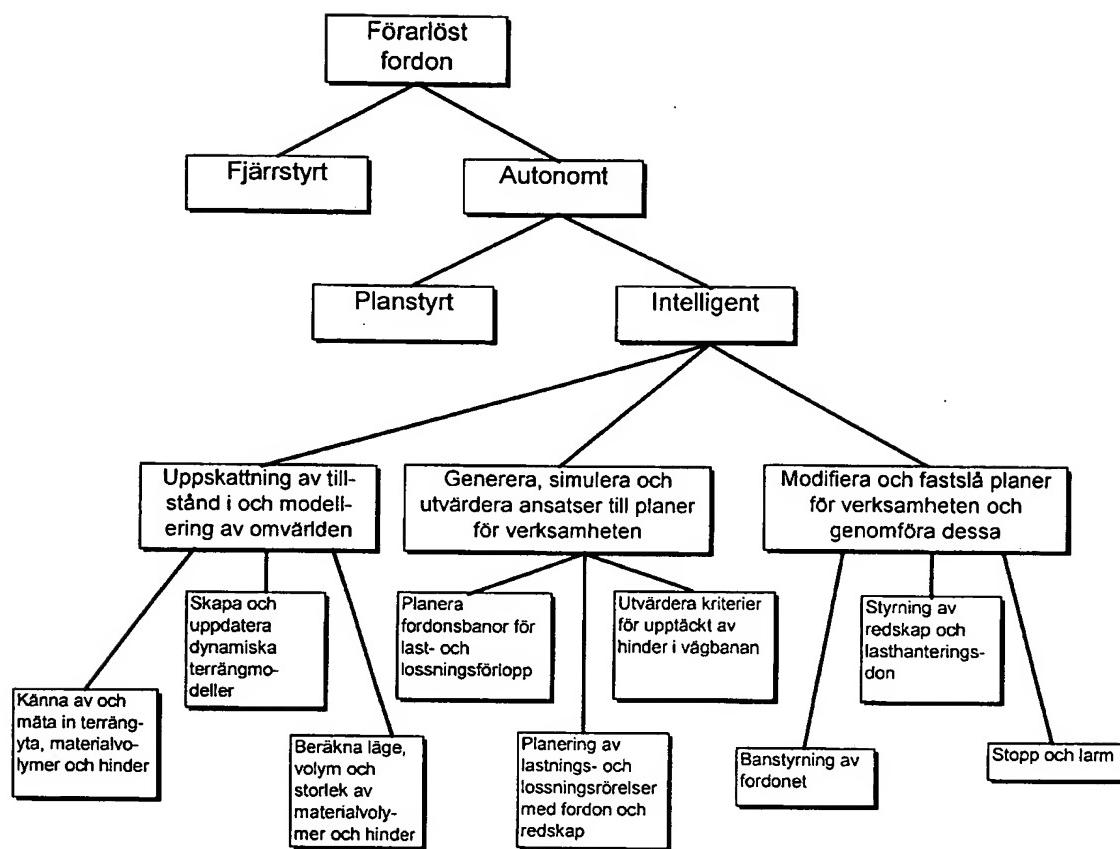


Fig 2:

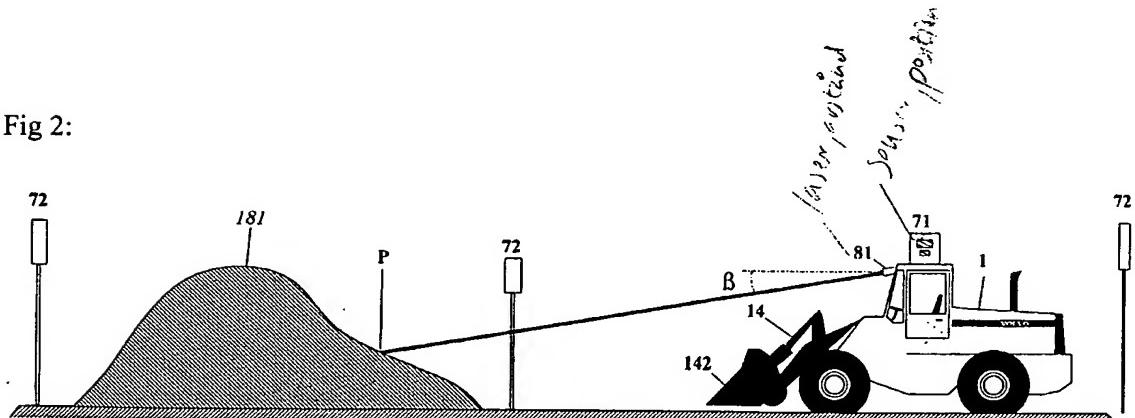


Fig 3:

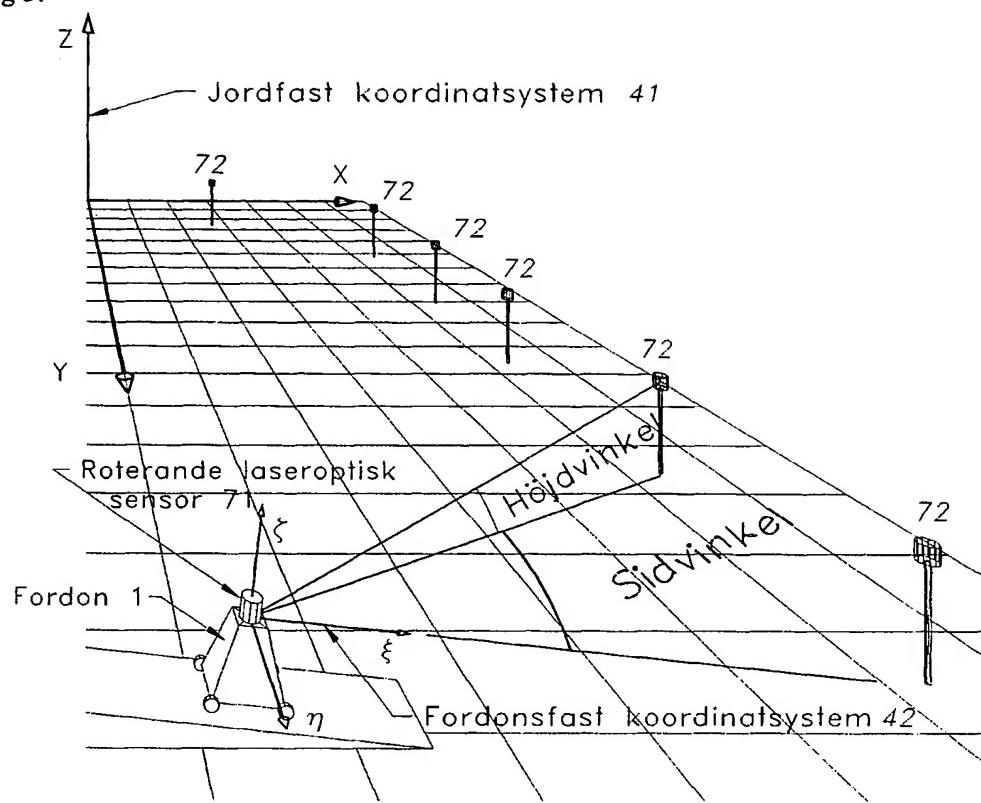


Fig 4:

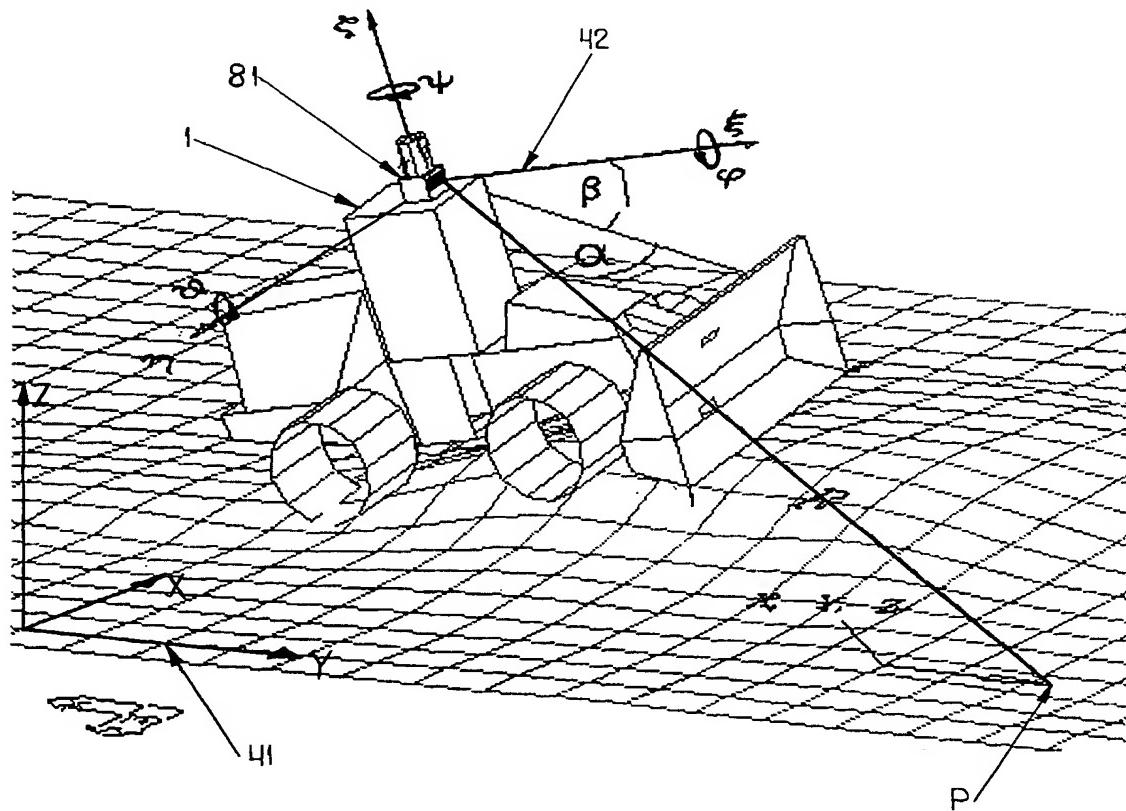


Fig 5:

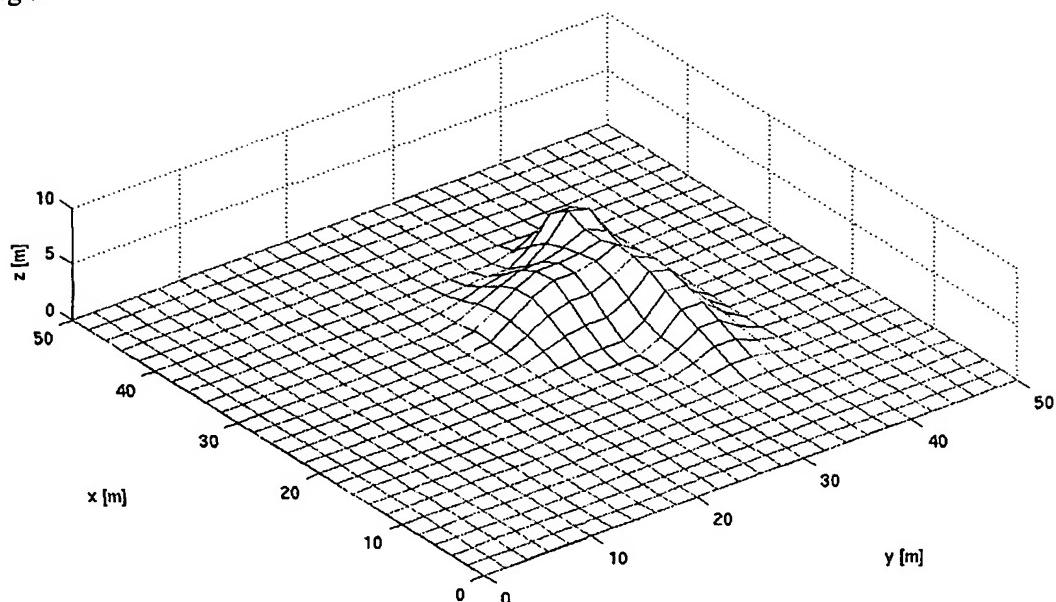


Fig 6:

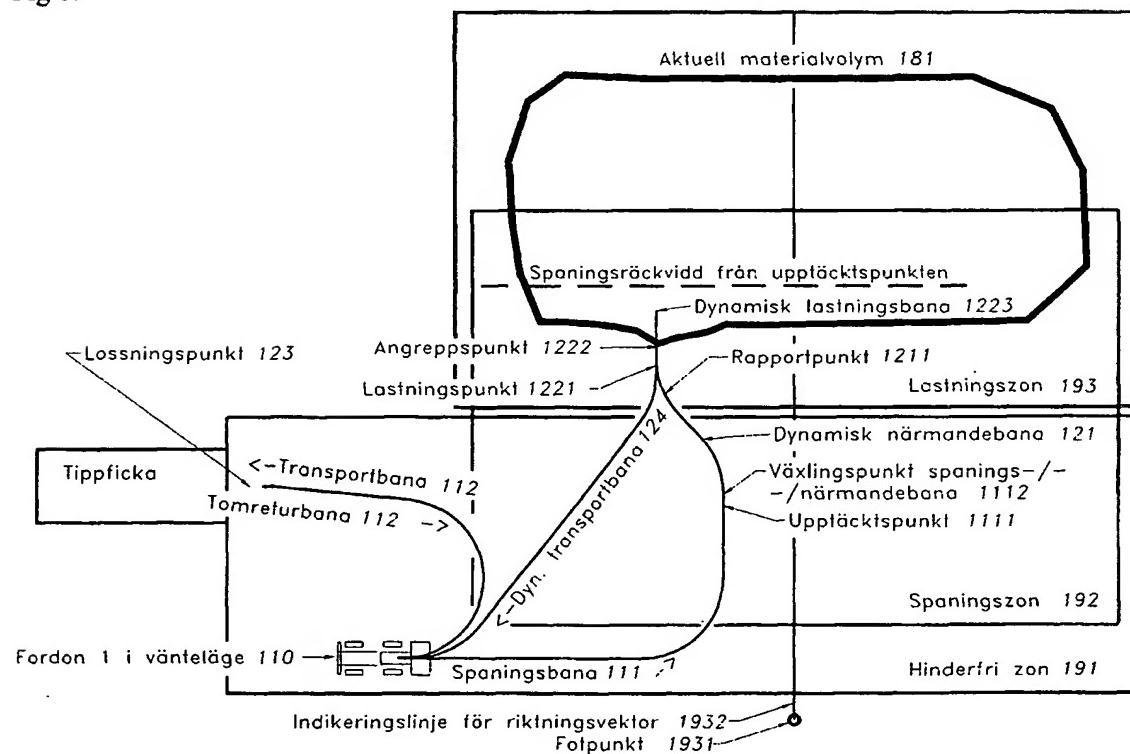
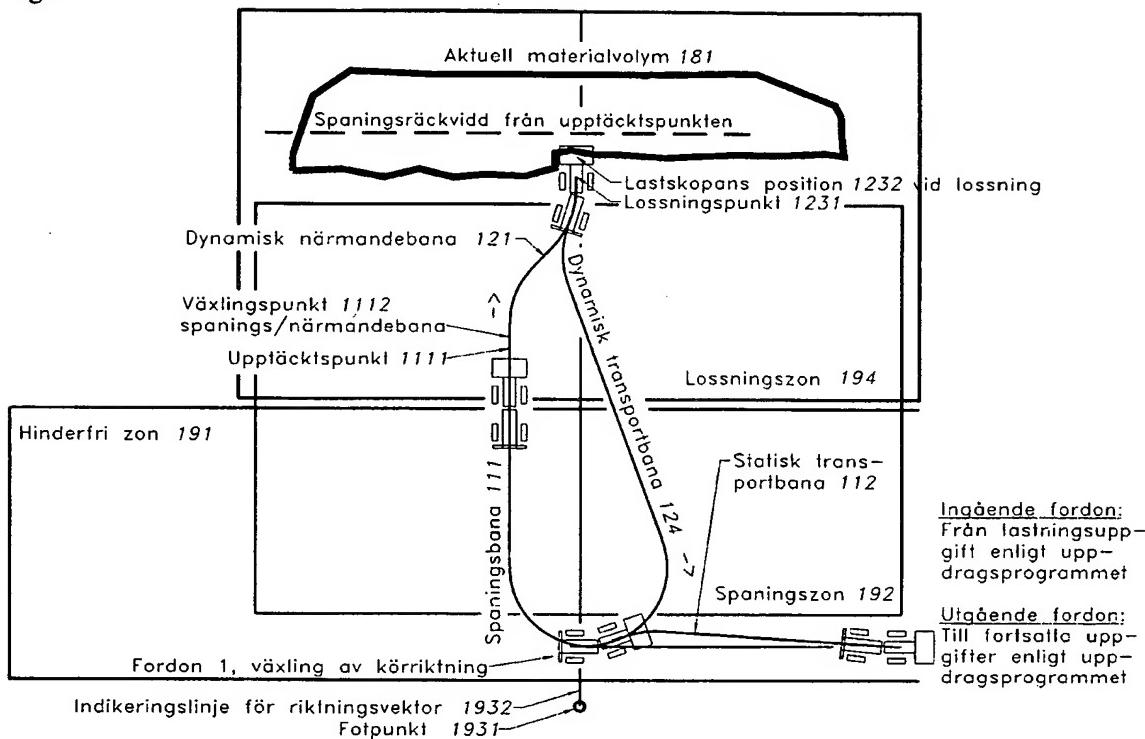


Fig 7:



SÄF 2009-03-03

Fig 8:

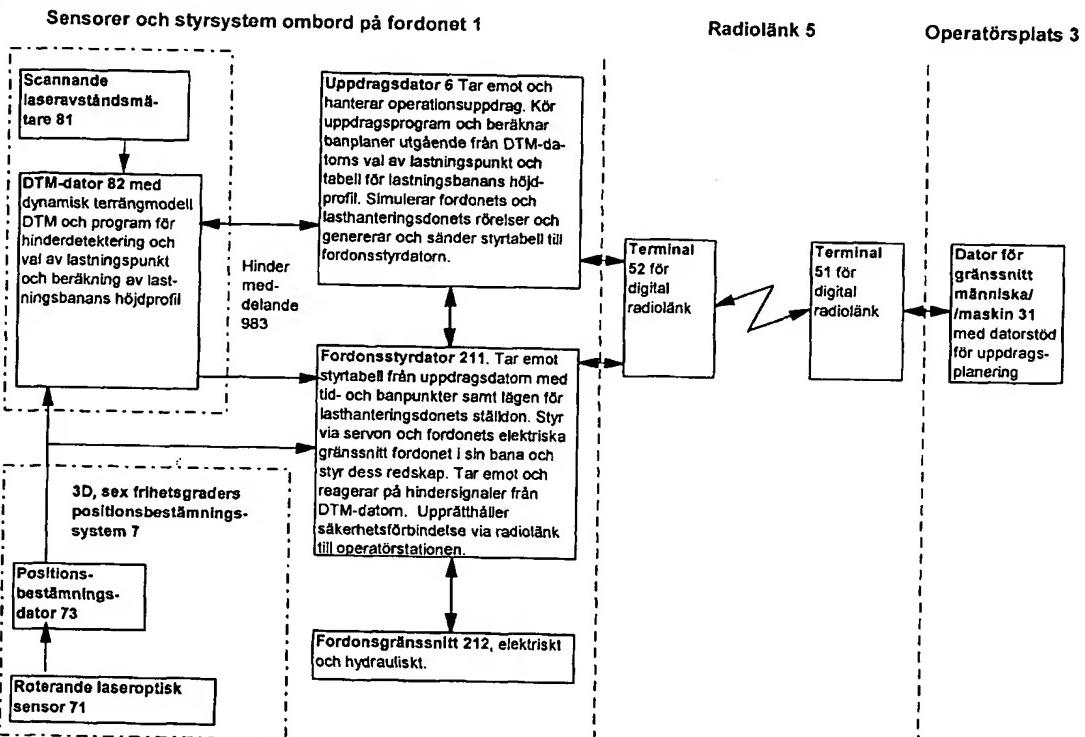
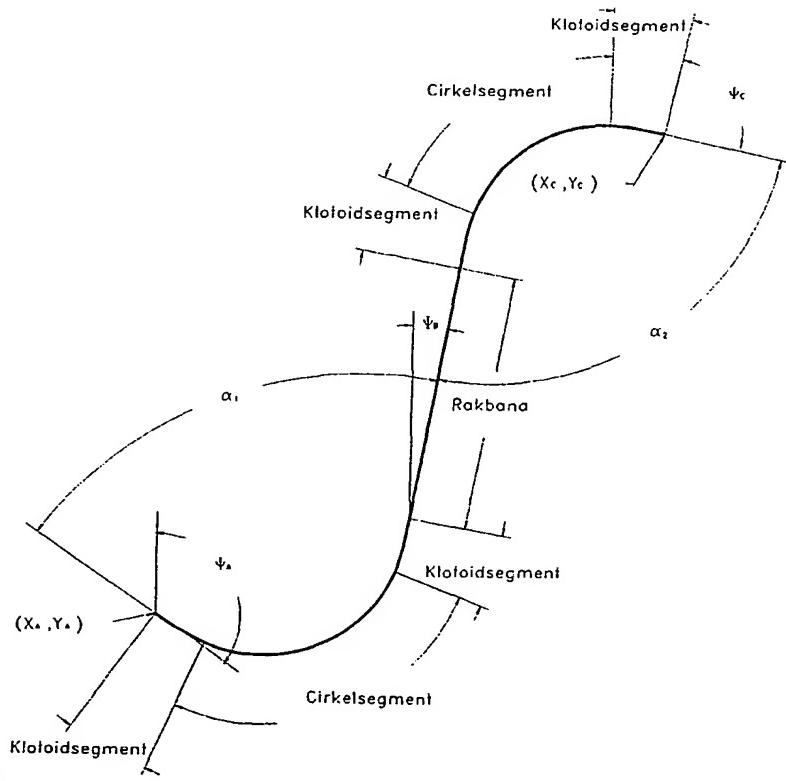


Fig 9:



M
E
C
H
A
N
I
C
S
S
Y
S
T
E
M
S

Fig 10:

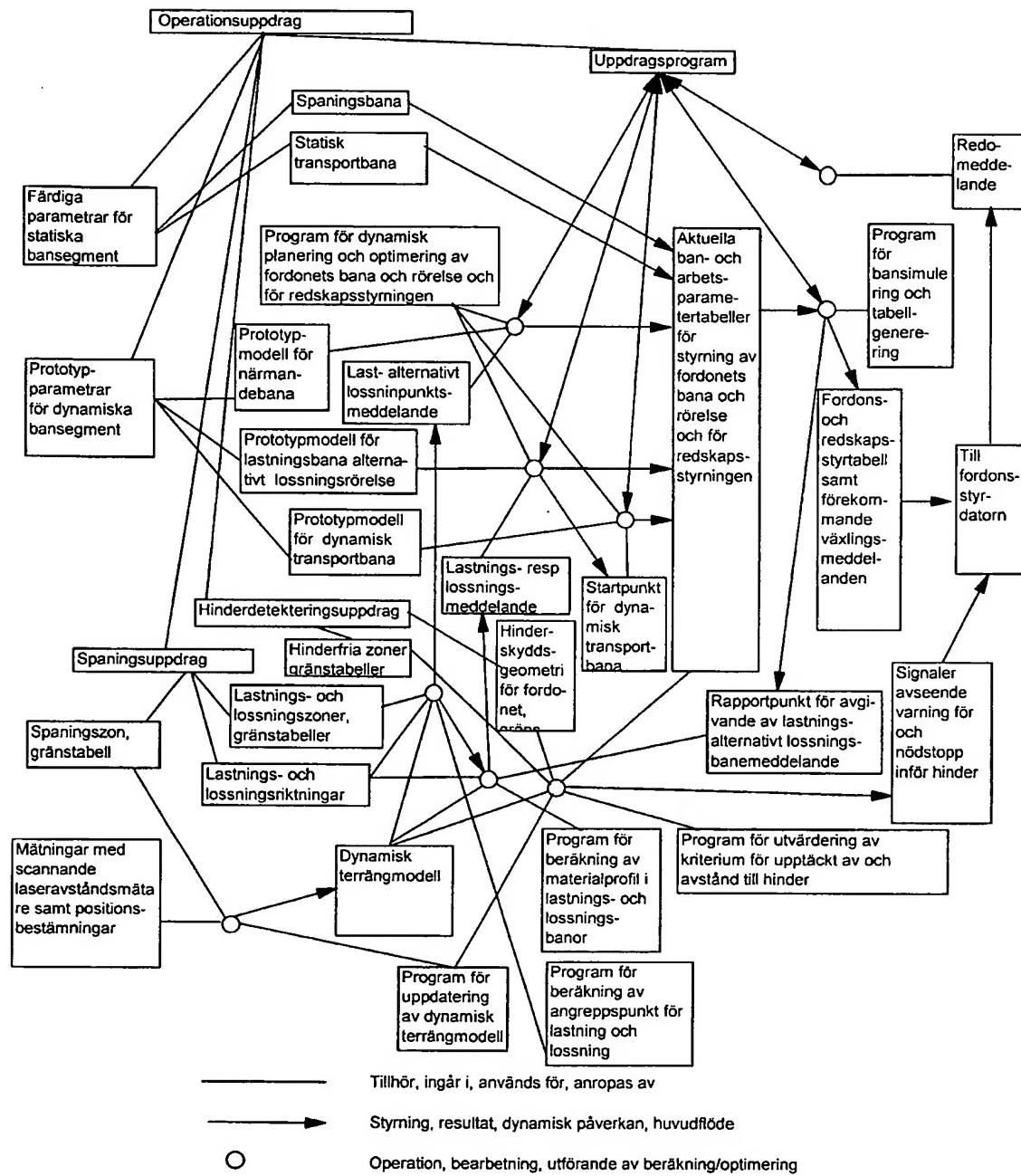


Fig 11:

Uppdrags- och meddelandeflöde, spanings- och lastningssekvens

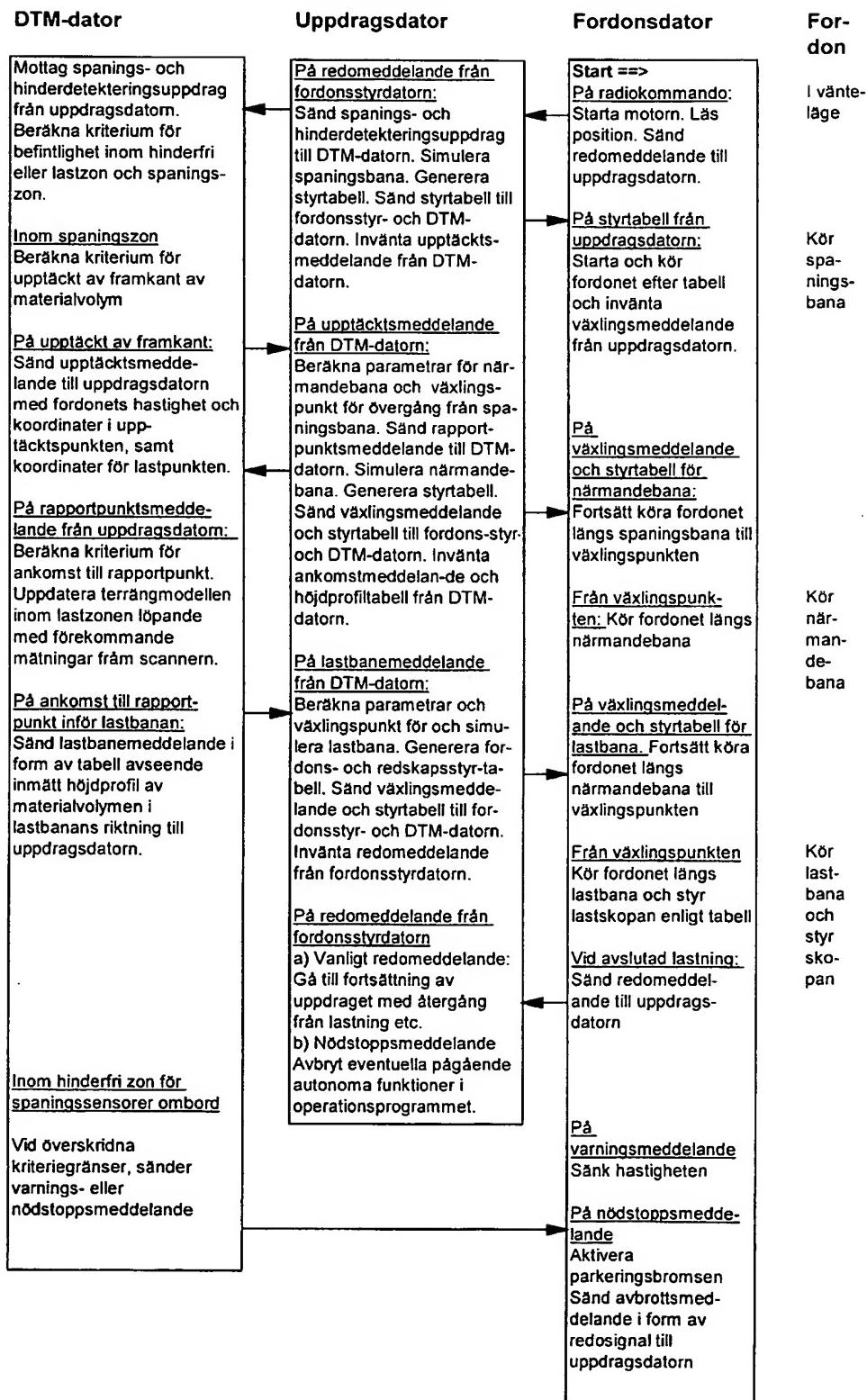


Fig 12:

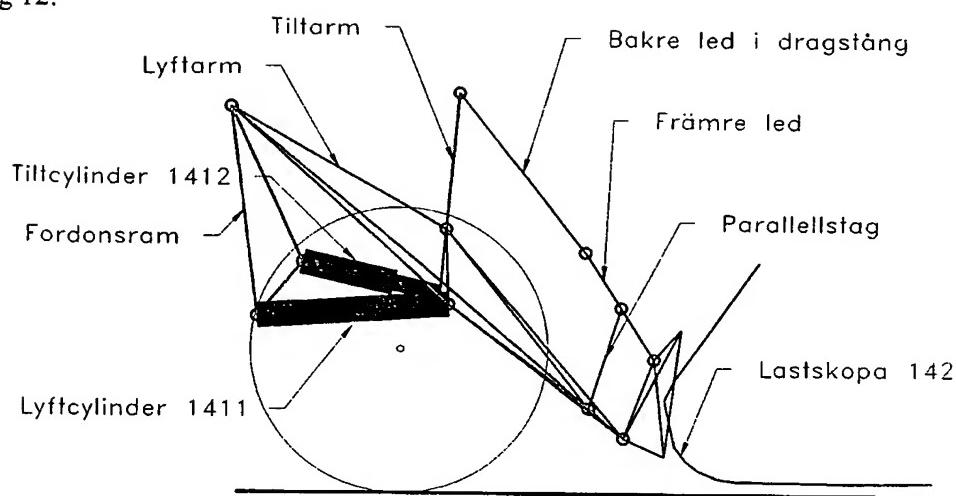


Fig 13:

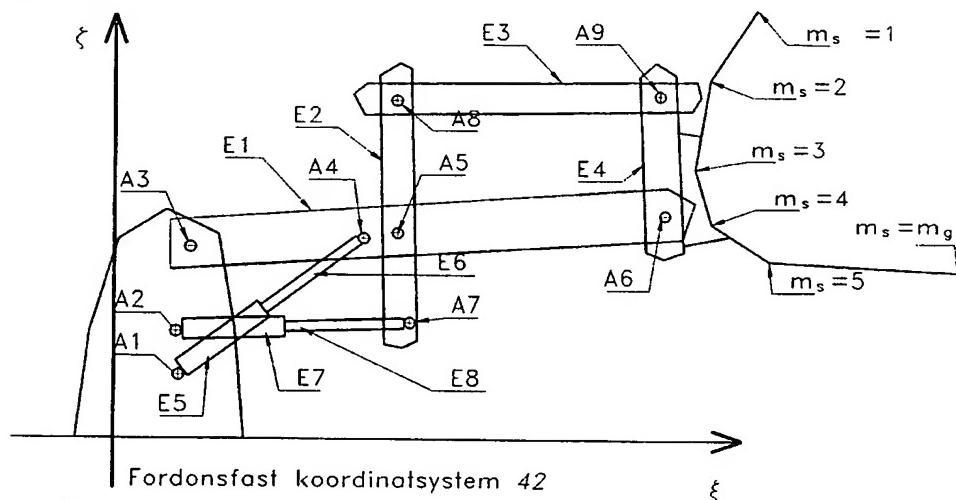


Fig 14:

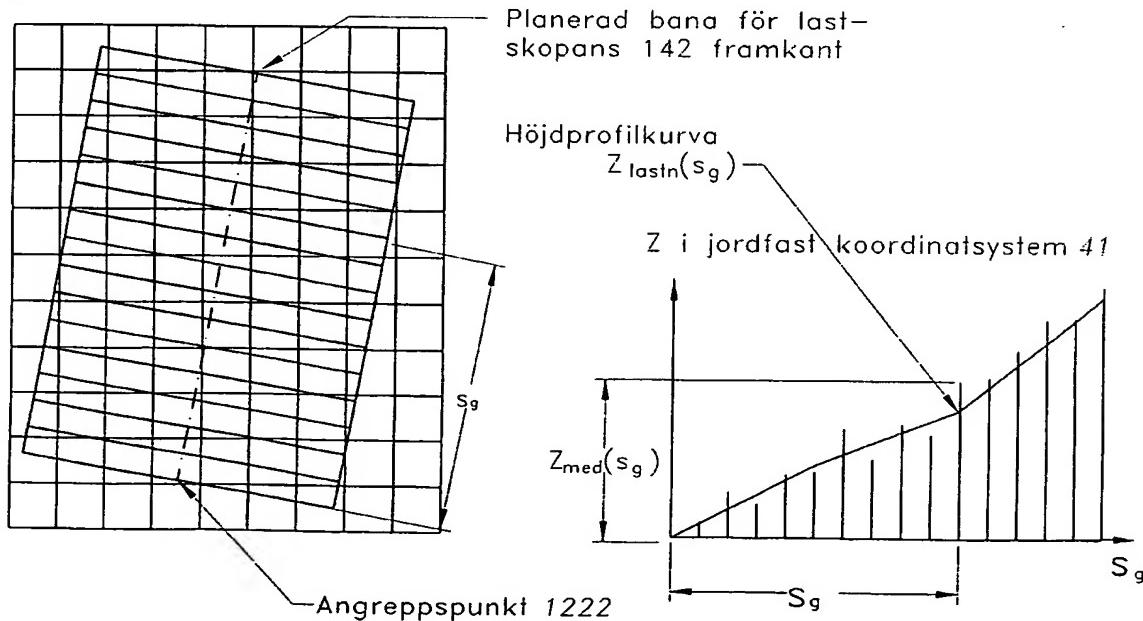


Fig 15:

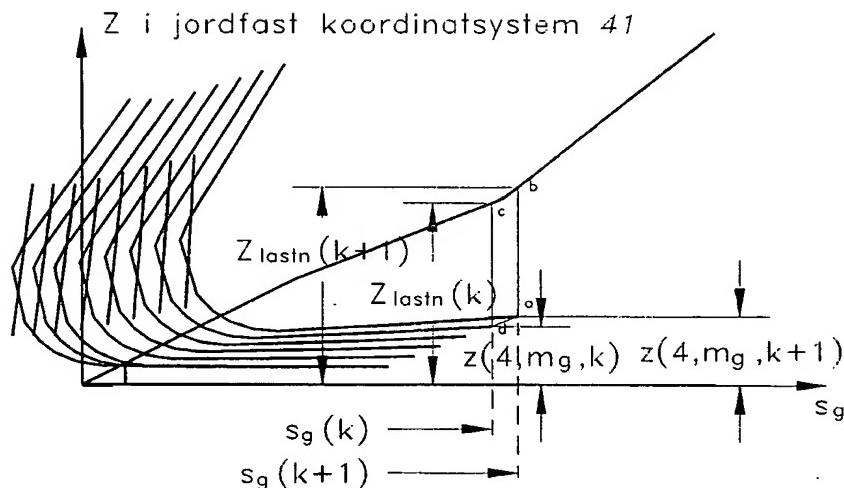


Fig 16:

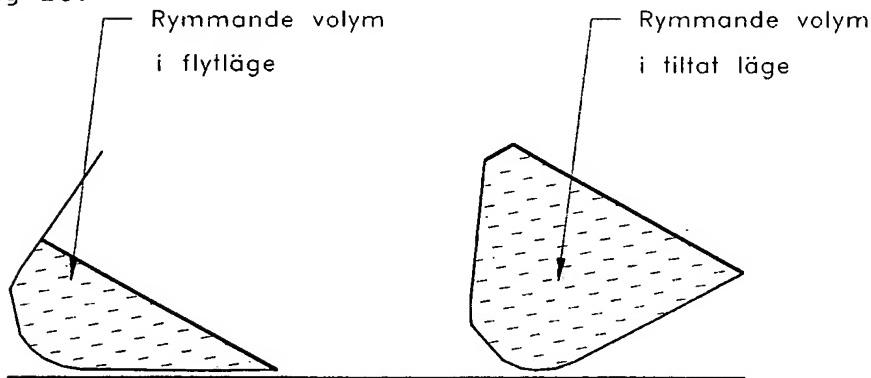


Fig 17:

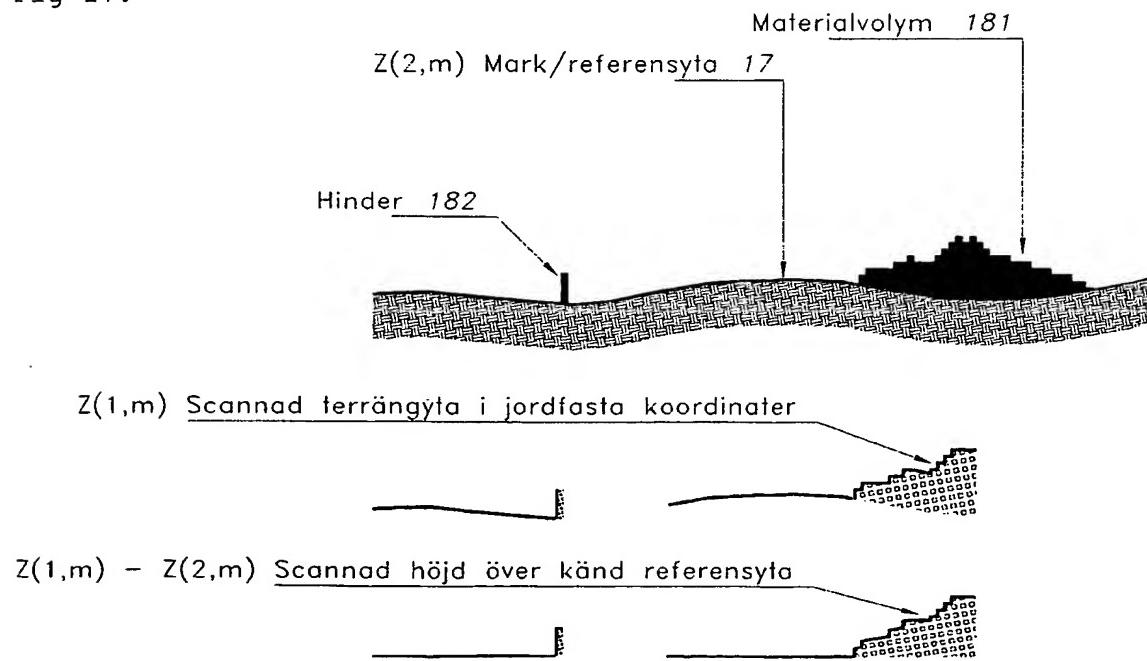
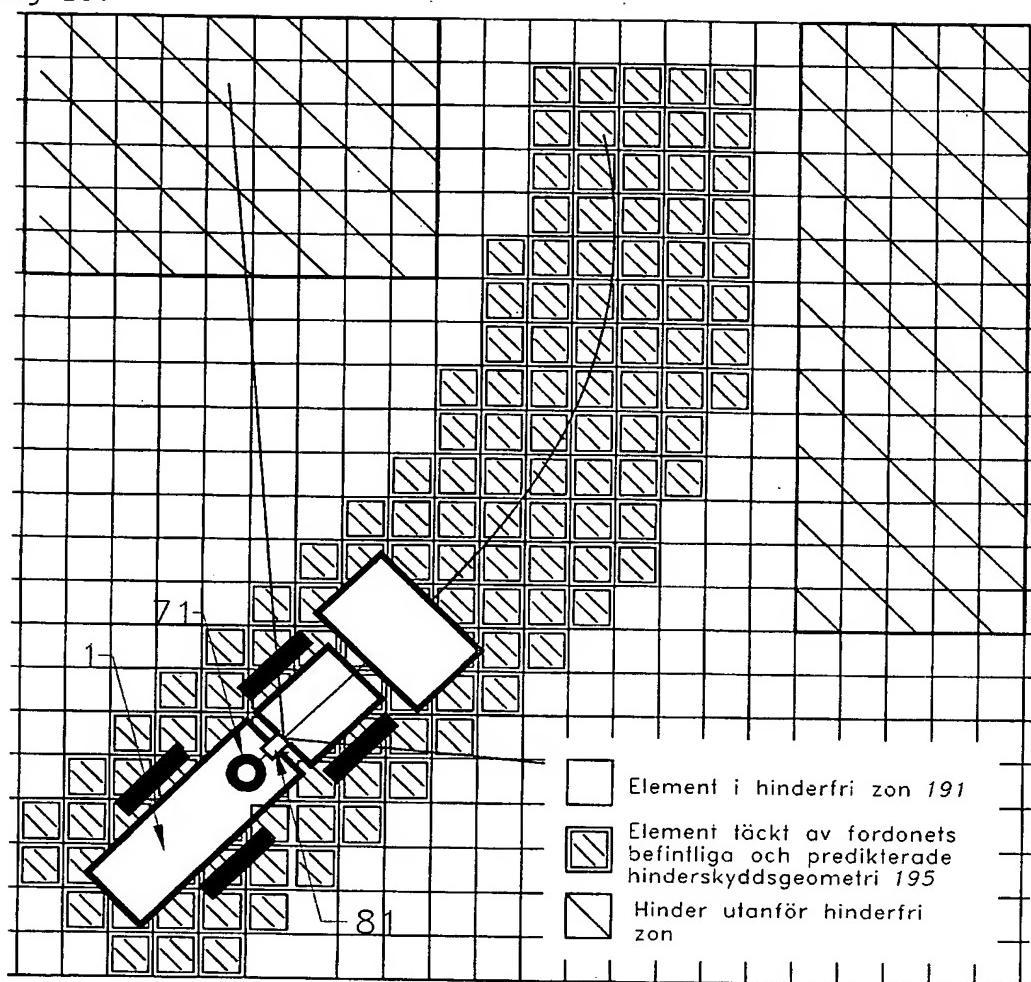


Fig 18:

9
3
2
2
2
2
2